

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Měření na elektromotorcích malých výkonů

Measurement on electric motor of small output

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Langer**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Měření na elektromotorcích malých výkonů**
Measurement on electric motors of small output

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Měření na elektrických strojích točivých
3. Diverenciální transformátor a dynamometry používané pro měření na elektromotorech malých a velmi malých výkonů
4. Pracoviště pro měření na elektromotorech malých a velmi malých výkonů
5. Měření elektromotorů malých a velmi malých výkonů na novém pracovišti
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. HENRY J., BAUDOT: Elektrické stroje pro automatizaci, SNTL Praha, 1971
2. STÖLTING H.D.: Elektrische Kleinmaschinen, TEUBNER, Stuttgart 1987
3. VAS PETER: Parameter estimation, condition monitoring and diagnosis of electrical machines, CLARENDON PRESS, OXFORD, 1994
4. YEADON, WILLIAM H.: Handbook of small electric motors, McGraw-Hill, New York 2001
5. Odpovídající normy

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Pavel Hrbáč, Ph.D.**

Datum zadání: 20.11.2009

Datum odevzdání: 07.05.2010

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Místo a datum

.....

Podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Pavlu Hrbáčovi, Ph.D. za poskytnuté rady a odbornou pomoc.

Abstrakt

Tato diplomová práce pojednává o měření elektromotorů malých a velmi malých výkonů. Diplomová práce se skládá ze šesti kapitol. Druhá kapitola rozlišuje typy zkoušek u točivých elektrických strojů. Třetí kapitola popisuje snímače krouticího momentu a jednotlivé druhy dynamometrů s důrazem na hysterézní dynamometry dostupné v laboratoři VŠB - TUO. Čtvrtá kapitola se věnuje popisu nového pracoviště, jeho nastavením a pracovním postupem při měření elektromotoru. Pátá kapitola prezentuje a analyzuje výsledky měření elektromotorů na novém pracovišti.

Klíčová slova

Měření, elektromotor, dynamometr, krouticí moment, účinnost

Abstrakt

This thesis deals with the measurement on electric motors of small and very small output. The second section distinguishes between types of tests on rotating electrical machines. The third chapter describes the torque transducer and the different types of dynamometers with emphasis on the hysteresis dynamometers available in the laboratory of VSB - TUO. The fourth chapter is devoted to the description of a new workplace, the setup and workflow for measuring on electric motor. The fifth chapter presents and analyzes the results of measurements of electric motors in the new workplace.

Keywords

Measurement, electric motor, dynamometer, Torque, Efficiency

Seznam použitých symbolů a zkratk

6510e	označení jednofázového výkonového analyzátoru
6530	označení třífázového výkonového analyzátoru
A	ampér
$\cos y$	účinník
ČSN	česká státní norma
D	derivace
DSP6001	označení vysokorychlostního programovatelného řídicího systému pro dynamometry
g	gram
GPiB	typ sběrnice
Hz	hertz
I	integrace
$\text{Kg.m}^2.i$	jednotka nominálního momentu setrvačnosti
m	metr
mdf	přípona data souboru
msf	přípona setup souboru
Nm	jednotka krouťícího momentu
ot/min	otáčky za minutu
P	poměrné zesílení
ppr	pulse pe v minute
rpt	přípona report souboru
V	volt
VA	voltampér
W	watt

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Měření na elektrických strojích točivých.....	10
2.1 Měření na stejnosměrných strojích točivých.....	10
2.2 Měření na synchronních strojích točivých	10
2.3 Měření na asynchronních strojích točivých.....	11
2.4 Současné trendy v měření elektrických strojů točivých.....	11
3. Diferenciální transformátor a dynamometry používané pro měření na elektromotorech malých a velmi malých výkonů.....	12
3.1 Snímač krouticího momentu pracující na principu diferenciálního	12
3.1.1 Měřicí pracoviště vybavené snímačem krouticího momentu	12
pracujícím na principu diferenciálního transformátoru - Torquemaster	12
3.1.2 Snímač Torquemaster TMB 308/411	13
3.2 Dynamometry pro měření na elektromotorech malých výkonů.....	14
3.2.1 Dynamometr s vřivou brzdou.....	15
3.2.2 Dynamometr s práškovou brzdou.....	15
3.2.3 Dynamometr s hysterézní brzdou	16
4. Pracoviště pro měření na elektromotorech malých a velmi malých výkonů.....	21
4.1 Vybavení pracoviště	21
4.2 Zapojení pracoviště pro měření elektromotorů malých a velmi.....	23
4.2.1 Zapojení elektromotoru s jednofázovým výkonovým analyzátozem	23
4.2.2 Zapojení elektromotoru s třífázovým výkonovým analyzátozem	24
4.3 Realizace měření pomocí programu M-TEST 5.0	26
4.3.1 Záložka Start.....	27
4.3.2 Záložka Configure hardware	28
4.3.3 Záložka Display	29
4.3.4 Záložka Configure test	30
4.3.5 Záložka Adjust PID	32
4.3.6 Záložka TEST.....	32
4.3.7 Záložka View data	33
4.3.8 Záložka 5 - axis graph	34
4.3.9 Záložka 1 - axis graph	34
4.3.10 Záložka Compare.....	35
4.3.11 Záložka Reports	36
4.3.12 Záložka Security	36
5. Měření elektromotorů malých a velmi malých výkonů na novém pracovišti.....	37
5.1 Měření elektromotoru AXI 4120/18 GOLD LINE	37
5.2 Měření elektromotoru AXI 4130/12 GOLD LINE	41
5.3 Měření elektromotoru AXI 4130/16 GOLD LINE	43
5.4 Měření elektromotoru AXI 2814/10 GOLD LINE	46
5.5 Měření elektromotoru FCJ4C52J	48
6. Závěr.....	51
Seznam literatury	52
Seznam příloh	

1. Úvod

Metody měření elektromotorů malých výkonů se z neustálými pokroky a objevy v oblasti výroby elektrických strojů točivých dynamicky rozvíjí a musí splňovat stále vyšší nároky na přesnost, rychlost a jakost měření. VŠB - TU Ostrava je pro měření na elektromotorcích malých a velmi malých výkonů vybavena moderní laboratoří, která splňuje veškeré podmínky pro úspěšnou realizaci měření a následnou analýzu těchto strojů.

Cílem diplomové práce je zjistit a analyzovat charakteristiky měřených elektromotorů s využitím moderních měřících postupů, které jsou dostupné na novém pracovišti.

Předložená diplomová práce se skládá z šesti kapitol. Druhá kapitola se věnuje druhům zkoušek prováděných na stejnosměrných, synchronních a asynchronních strojích točivých. Dále nastiňuje současné trendy v měření na elektrických strojích točivých.

Třetí kapitola charakterizuje snímače kroutícího momentu pracující na principu diferenciálního transformátoru. Následně popisuje pracoviště vybavené tímto snímačem a vysvětluje princip funkce snímače Torquemaster TMB 308/411, jímž je vybaveno. V další části kapitoly jsou popsány dynamometry používané pro měření elektromotorů v návaznosti na princip vyvolání brzděného kroutícího momentu. Vysvětluje princip funkce jednotlivých typů dynamometrů a zabývá se hysterézními dynamometry MAGTROL HD 400-8NA-0130 a MAGTROL HD 510-8NA-0130, jimiž je nové pracoviště vybaveno a jsou pro měření na elektromotorcích malých a velmi malých výkonů nejvhodnější.

V rámci čtvrté kapitoly jsou charakterizovány veškeré komponenty nového pracoviště pro měření na elektromotorcích malých a velmi malých výkonů a uvádí jednotlivé druhy zapojení a možnosti měření. Nejrozsáhlejší část kapitoly v chronologickém sledu popisuje pracovní postup při realizaci konkrétního měření pomocí testovacího programu M-TEST 5.0.

V páté kapitole jsou prezentovány výsledky jednotlivých měření v závislosti na vlastnostech měřených elektromotorů a zvolené metodě měření. S využitím testovacího programu M - TEST 5.0 jsou zobrazeny zjištěné charakteristiky měřených elektromotorů, které jsou následně podrobovány analýze.

2. Měření na elektrických strojích točivých

V oblasti elektrických strojů točivých se provádí řada měření a zkoušek, jejichž účelem je zajistit správnou funkci a chod těchto strojů. Tyto zkoušky a měření se provádí během pracovního postupu výroby elektromotoru, přičemž po jeho dokončení a uvedení do chodu (případně i v provozu v rámci revizí a kontrol) je také nutné provést zkoušky funkčnosti. Elektrické stroje točivé musí splňovat požadavky na jakost s důrazem na technické, bezpečnostní a provozní požadavky. Požadavky na zkoušky, způsobu jejich provádění, požadavky na zkušební podmínky a pořadí zkoušek jsou definovány v rámci ČSN 350010:1992/Z1 (350010) - Točivé elektrické stroje - zkoušky. [1]

2.1 Měření na stejnosměrných strojích točivých

V rámci měření stejnosměrných elektrických strojů točivých provádíme následující zkoušky (tyto zkoušky jsou stejné jak pro motory, tak i pro dynamy): [2]

- měření izolačních odporů vinutí,
- měření odporů vinutí za studena,
- měření mechanické pevnosti kotvy (zvýšenými otáčkami stroje),
- zkouška izolace přiloženým napětím (závitová izolace indukovaným napětím),
- měření charakteristiky naprázdno a ztrát naprázdno,
- měření zatěžovací charakteristiky,
- zkouška oteplením a přetížením,
- kontrola komutace (měření šířky pásma bez jisker).

2.2 Měření na synchronních strojích točivých

Měření na synchronních strojích točivých podléhá řadě zkoušek, z nichž nejpodstatnější vliv na určení správného chodu stroje mají: [3]

- měření izolačních odporů jednotlivých vinutí proti kostře a mezi sebou,
- zkouška mechanické pevnosti rotorového tělesa (zvýšenými otáčkami stroje),
- měření charakteristiky naprázdno,
- kontrola tvaru křivky při chodu naprázdno,
- měření charakteristiky nakrátko,
- kontrola sledu fází,
- měření ztrát a určení účinnosti,
- zkratová pevnost,
- zkouška oteplením a přetížením.

2.3 Měření na asynchronních strojích točivých

Měření na asynchronních strojích točivých podléhá řadě zkoušek, z nichž nejpodstatnější vliv na určení správného chodu stroje mají: [4]

- měření izolačních odporů vinutí,
- měření proudů a ztrát naprázdno,
- měření proudů a ztrát nakrátko,
- zkouška závitové izolace,
- zkouška mechanické pevnosti rotorového tělesa (zvýšenými otáčkami stroje),
- zkouška oteplením a přetížením,
- měření momentové charakteristiky u motorů nakrátko,
- měření účinnosti,
- měření účinku.

2.4 Současné trendy v měření elektrických strojů točivých

V rámci modernizace postupů při výrobě elektrických strojů točivých je snahou výrobců provádět zkoušky s nejvyšší možnou přesností, nejsnazší technologií a nejmenší časovou náročností. Proto jsou moderní měření elektrických strojů točivých uskutečňována pomocí softwarových aplikací, které jsou schopny v krátkém časovém úseku určit všechny potřebné charakteristiky elektrického točivého stroje, které jsou potřebné pro ověření jeho správné funkčnosti.

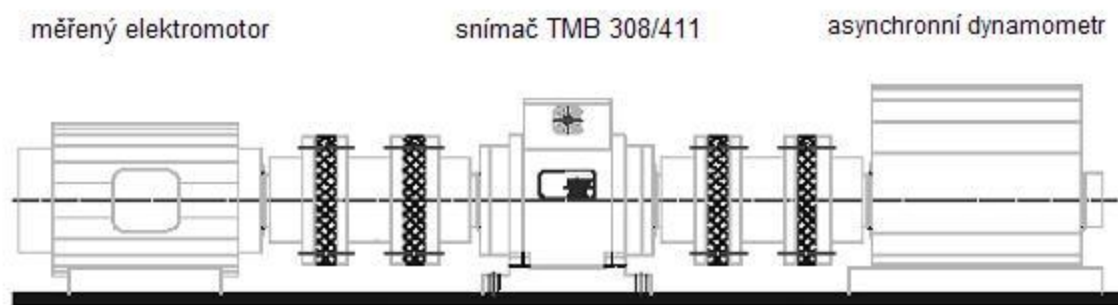
3. Diferenciální transformátor a dynamometry používané pro měření na elektromotorech malých a velmi malých výkonů

3.1 Snímač kroutícího momentu pracující na principu diferenciálního transformátoru - Torquemaster

Snímač kroutícího momentu pracující na principu diferenciálního transformátoru (v technické praxi se velmi často používá anglický název Torquemaster) se v současnosti používá především pro měření na točivých elektrických strojích středního výkonu, ovšem tohoto principu lze v praxi využít i pro měření na elektromotorech malých výkonů. Tato skutečnost je dána především jmenovitou hodnotou kroutícího momentu měřeného elektromotoru. Snímač Torquemaster v režimu měření kroutícího momentu lze totiž především využít v rozsazích 0,1 [Nm] až 1 [kNm] (záleží na typu snímače Torquemaster), kdežto pro měření na elektromotorech malých výkonů a tedy i s nižším kroutícím momentem je vhodnější pro přesnější měření použít hysterézní dynamometr. Měřicí rozsah kroutícího momentu u hysterézních dynamometrů se pohybuje od 18 [mNm] do 60 [Nm] (opět záleží na typu hysterézního dynamometru). Hysterézní dynamometry pro měření na elektromotorech malých výkonů se jmenovitou hodnotou kroutícího momentu v řádově desítkách Nm jsou však omezeny otáčkami, proto jsou vhodné pouze pro měření pomaloběžných strojů a je proto rozumnější tyto elektromotory podrobit měření pomocí snímače Torquemaster, kdežto elektromotory malých výkonů a tedy malého kroutícího momentu podrobovat měření na hysterézním dynamometru. [5], [6]

3.1.1 Měřicí pracoviště vybavené snímačem kroutícího momentu pracujícím na principu diferenciálního transformátoru - Torquemaster

Pracoviště dostupné v laboratoři VŠB - TUO je vybaveno asynchronním dynamometrem napájeným z měniče kmitočtu, přičemž kroutící moment je snímán prostřednictvím snímače pracujícím na principu diferenciálního transformátoru Torquemaster TMB 308/411. Dále je pracoviště vybaveno ovládacím pultem, napájecím pultem a stojanem, na který se umísťuje měřený elektromotor. Elektromotor je pomocí spojky propojen se vstupní hřídelí snímače Torquemaster TMB 308/411. Výstupní hřídel snímače Torquemaster TMB 308/411 je propojen podobnou spojkou s asynchronním dynamometrem, který je napájen z měniče (viz obr.3.1). Spojky jsou vyrobeny z vysoce kvalitního houževnatého materiálu, zaručují mechanicky pevné a přitom pružné propojení hřídele snímače Torquemaster TMB 308/411 s hřídelí měřeného elektromotoru a s hřídelí asynchronního dynamometru. Tyto spojky také tlumí mechanické vibrace způsobené vychýlením strojů z osy rotace a mechanické namáhání rotujících částí (hřídelí, ložisek apod.). Tím se prodlužuje mechanická životnost kompletního měřicího pracoviště.



Obr.3.1 Provedení měřícího stanoviště se snímačem, který pracuje na principu diferenciálního transformátoru

3.1.2 Snímač Torquemaster TMB 308/411

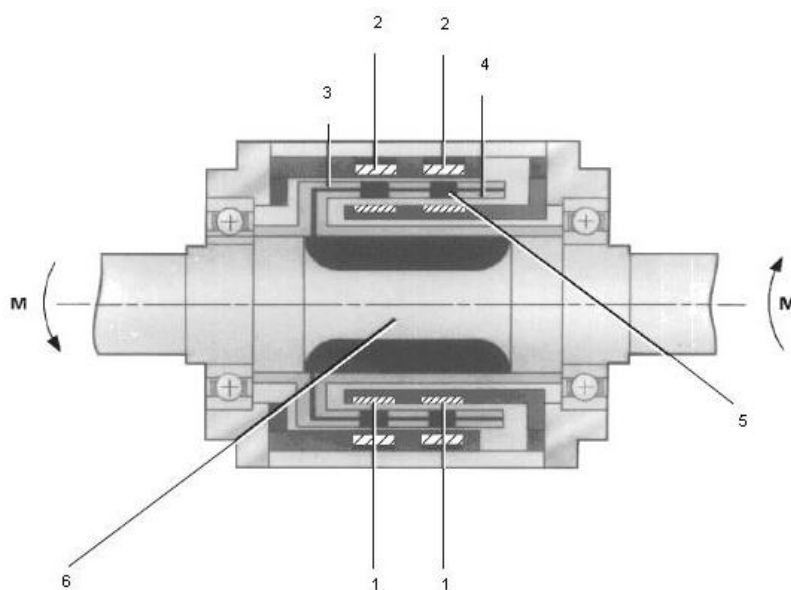
Snímač Torquemaster TMB 308/411 je uzpůsoben k měření kroutícího momentu a k měření otáček. Obsahuje hřídel s deformační zónou pro měření kroutícího momentu, převodník kroutícího momentu, zabudovanou řídicí elektroniku a dvě hermeticky zapouzdřená ložiska s celoživotním mazáním. Snímač Torquemaster TMB 308/411 je pro potřeby měření propojen se zobrazovací jednotkou Magtrol 6400 pro zpracování signálu. Snímač Torquemaster TMB 308/411 může pracovat ve třech režimech:

- měření statického a dynamického kroutícího momentu
- měření otáček
- samokontrola (self - check)

Snímač Torquemaster TMB 308/411 pracuje jako induktivní snímač kroutícího momentu. V podstatě se jedná o diferenciální transformátor s proměnlivým vazebním činitelem napětí.

Primární a sekundární vinutí diferenciálního transformátoru jsou oddělena dvěma soustřednými hliníkovými válci, vnějším a vnitřním, které jsou soustředně perforovány. Tyto válce jsou trvale spojeny s měřicí hřídelí kroutícího momentu snímače Torquemaster TMB 308/411 na protilehlých koncových čepech hřídele.

Jestliže hřídel snímače Torquemaster TMB 308/411 není zatížena žádným kroutícím momentem, otvory v obou soustředných hliníkových válcích nejsou překryty (působí jako stínění) a tudíž se v sekundárním vinutí neindukuje žádné napětí. Pokud je měřený elektromotor zatížen asynchronním dynamometrem, je jeho kroutícím momentem namáhána také hřídel snímače Torquemaster TMB 308/411 a dojde k přechodné deformaci této hřídele (zkroucení) v deformační zóně mezi čepy hřídele tohoto snímače, na nichž jsou trvale upevněny perforované válce. Soustředné hliníkové válce se proto pootočí o deformační úhel, který je úměrný kroutícímu momentu elektromotoru. Dojde tedy k překrytí otvorů, což má za následek indukci napětí v sekundárním vinutí diferenciálního transformátoru. Je-li primární vinutí napájeno střídavým napětím, velikost vybuzeného sekundárního napětí je poté úměrná danému kroutícímu momentu měřeného elektromotoru. [5]



Obr. 3.2 Podélný řez snímačem

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| 1 – Primární vinutí | 4 – Vnitřní válec |
| 2 – Sekundární vinutí | 5 – Drážky ve válcích |
| 3 – Vnější válec | 6 – Deformační zóna |

3.2 Dynamometry pro měření na elektromotorcích malých výkonů

V současné technologické praxi vyskytuje nepřehledné množství točivých elektrických strojů malých výkonů, jejichž vlastnosti určují jejich konkrétní použití. Běžné elektromotorky nacházejí uplatnění v oblasti výpočetní techniky (tiskárny, osobní počítače atd.), v oblasti domácího použití (fény, ventilátory, hračky atd.) a v celé řadě dalších aplikací. Charakteristickou vlastností těchto elektromotorků je především spolehlivost, nízká hmotnost a cena. Naproti tomu precizní elektromotorky používané především v modelářství jsou podstatně dražší, ovšem kvalita provedení, spolehlivost a životnost těchto elektromotorků je na velmi vysoké úrovni.

Vlivem masivního rozšíření těchto elektromotorků do praxe roste i potřeba tyto elektromotorky podrobovat přesnému a kvalitnímu měření. Pro analýzu elektrických vlastností těchto elektromotorků je nejkvalitnější měření pomocí dynamometrů, které vyhovují jejich výrobním vlastnostem (především výkon na hřídeli, otáčky a krouticí moment). Rozlišujeme tři typy dynamometrů:

- dynamometr s vířivou brzdou,
- dynamometr s práškovou brzdou,
- dynamometr s hysterézní brzdou.

Nejdůležitějším faktorem je tedy typ použité brzdy dynamometru, přičemž nejpřesnější výsledky poskytuje dynamometr s hysterézní brzdou. V minulosti se pro měření na elektromotorcích

malých výkonů používala v největší míře miniaturní pásová brzda, avšak toto měření bylo časově náročné a neposkytovalo přesné výsledky.

3.2.1 Dynamometr s vířivou brzdou

Tento typ dynamometru pracuje na principu vířivé brzdy, kde jsou pro vytvoření brzdícího kroutícího momentu využity vířivé proudy uzavírané nakrátko v rotorovém disku. Stator je vybaven budícími cívkami, které jsou napájeny stejnosměrným proudem. Vlivem vybuzeného magnetického pole a otáčením rotorového disku dojde ke vzniku brzdného momentu. Na vnější straně rotorového disku je odlito žebrovaní, které plní funkci ventilátoru (viz obr. 3.3) a zároveň svým objemem zvětšuje chladičský povrch. Chlazení hraje u tohoto druhu brzdy důležitou roli, neboť rotorový disk je vířivými proudy tepelně namáhán. Při otáčení rotorového disku dochází k jeho neustálému přepólovávání, tudíž je vybuzen střídavý magnetický tok a diskem tedy začnou protékat vířivé proudy, které vytváří brzdný kroutící moment, jehož velikost lze regulovat změnou proudu v budících cívkách.



Obr. 3.3 Vířivá brzda

Dynamometry s vířivou brzdou jsou vhodné pro měření na elektromotorech středních a vyšších výkonů, na některých typech lze měřit i elektromotory malých výkonů, ovšem je nutné zohlednit fakt že tyto dynamometry mají velkou teplotní závislost a je proto nutné je vybavit vhodným chlazením, což nepříznivě ovlivňuje pořizovací cenu těchto dynamometrů. [6]

3.2.2 Dynamometr s práškovou brzdou

Tento typ dynamometru využívá principu práškové brzdy, která vyvolává kroutící brzdící moment. Tato brzda využívá ke svému chodu magnetický prášek, který ovlivňuje tření mezi rotorem

a statorem brzdy. Z technologického hlediska se jako magnetického prášku využívá grafit, tedy jedna z forem uspořádání krystalické mřížky uhlíku. Vínutím takové brzdy protéká elektrický proud, který vybudí v magnetickém obvodu magnetické pole, které přímo ovlivňuje vlastnosti magnetického prášku - od sypkého prášku ve stavu bez buzení, kdy prášek nijak neovlivňuje tření mezi rotorem a statorem až po stav při plném buzení, kdy magnetický prášek vlivem magnetického pole zcela vyplní prostor mezi statorem a rotorem a přímo tak ovlivní tření těchto součástí. Velikost tohoto tření je tedy přímo úměrná velikosti magnetického pole uvnitř brzdy.



Obr. 3.4 Prášková brzda

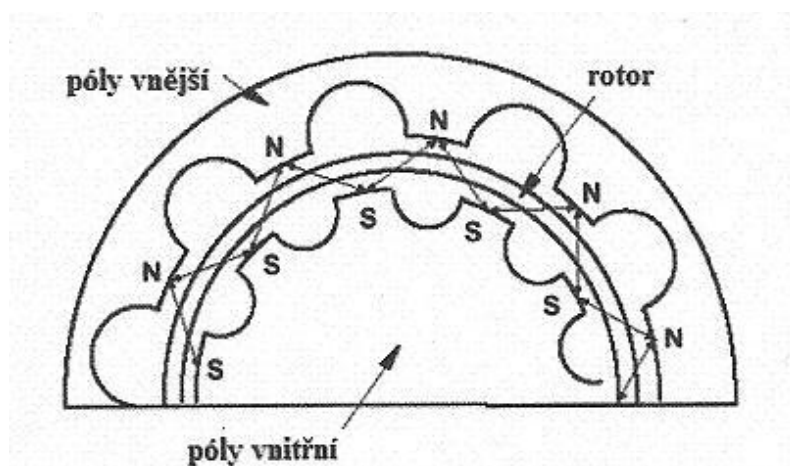
Dynamometry s práškovou brzdou je vhodné využít ve středních nebo vyšších výkonových aplikacích při nízkých až středních otáčkách. Plný krouticí moment poskytují tyto brzdy až do nulových otáček. [6]

3.2.3 Dynamometr s hysterézní brzdou

U tohoto typu dynamometru je brzdící krouticí moment vybuzen hysterézní brzdou. Brzda je složena ze dvou základních částí:

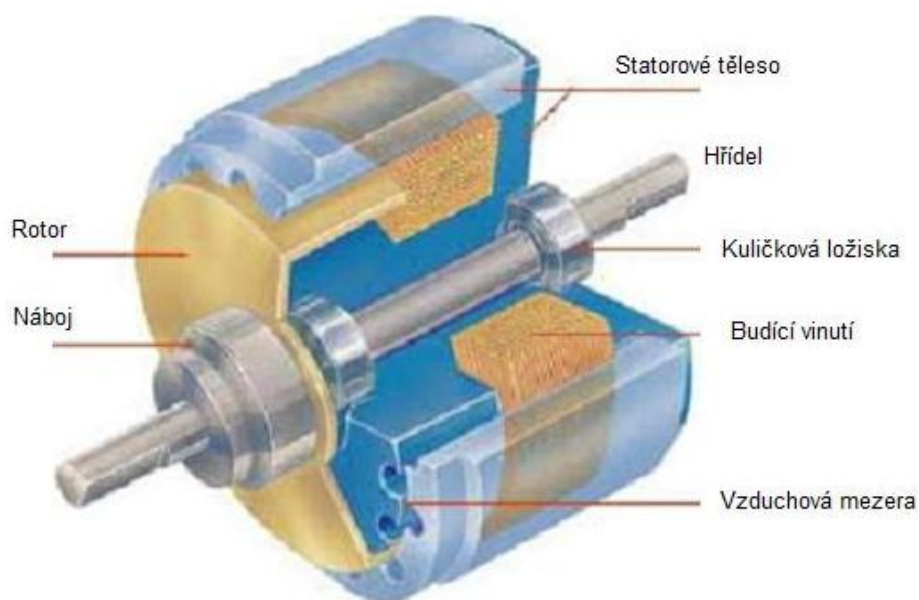
- pólově strukturovaného statorového tělesa
- rotoru ve tvaru bubínku

Princip vzájemného uložení statorového tělesa, jeho vnitřních a vnějších pólů a rotoru je názorně zobrazen na obr. 3.5.



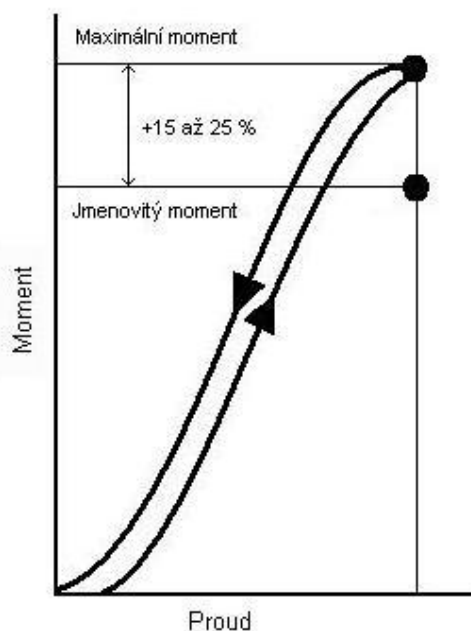
Obr. 3.5 Struktura statorového a rotorového tělesa

Tyto základní složky na sebe vzájemně magneticky působí, důsledkem čehož vyvolávají potřebnou brzdou sílu. Princip brzdění vychází se skutečnosti, že pokud přivedeme do budícího vinutí stejnosměrný proud, vybudí se ve vzduchové mezeře mezi póly statorového tělesa a rotorem magnetické pole. Vzniklý magnetický tok tedy začne brzdit rotor a vzniká tak brzdový moment. Tento brzdící moment je závislý pouze na magnetickém toku, potažmo brzdový výkon hysterézní brzdy je úměrně závislý pouze na hodnotě proudu protékající budícím vinutím. Na obr. 3.6 je zobrazen řez hysterézní brzdou.



Obr. 3.6 Řez hysterézní brzdou

Závislost $M = f(I)$ brzdícího kroutícího momentu na proudu protékajícím budícím vinutím na obr. 3.7 názorně ukazuje, že brzdící moment hysterézní brzdy je odlišný při narůstajícím a klesajícím proudu. Tato odchylka je způsobena vlastní hysterezí materiálu rotoru a při opakování cyklu činí tato chyba 1%.



Obr. 3.7 Závislost $M = f(I)$ hysterézní brzdy

Dynamometr s hysterézní brzdou je nejvhodnější pro měření na vysokootáčkových elektromotorcích malých výkonů. Hysterézní brzda poskytuje plný kroutící moment až do nulových otáček. Laboratoř VŠB - TUO je vybavena dvěma hysterézními dynamometry:

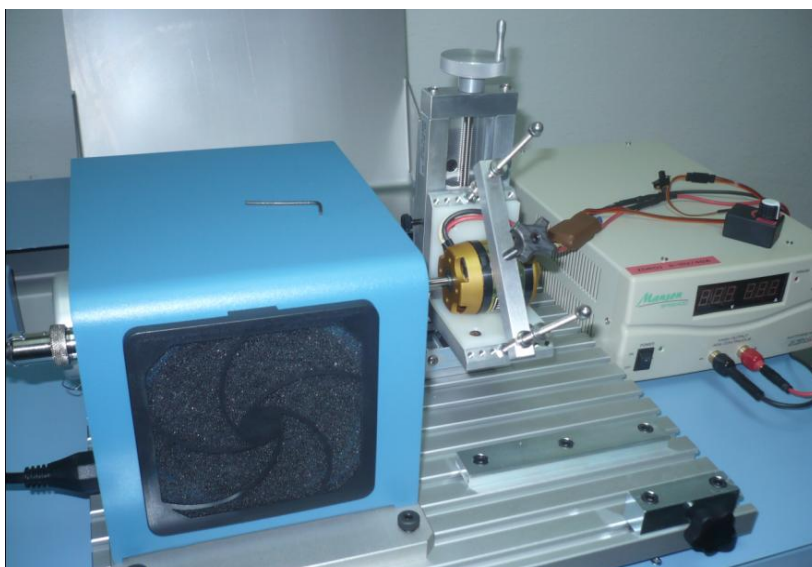
- MAGTROL HD 400-8NA-0130,
- MAGTROL HD 510-8NA-0130.

Dynamometr s hysterézní brzdou MAGTROL HD 400-8NA-0130

Hysterézní dynamometr sloužící k provádění měření na elektromotorcích malých výkonů poskytující přesné zatížení kroutícího momentu nezávisle na otáčkách hřídele s maximální hodnotou kroutícího momentu 280 [mNm], maximálním výkonem 200 [W] (po dobu max. 5-ti minut) a maximálních otáčkách 25000 [ot/min]. Chlazení dynamometru je realizováno pomocí vestavěného ventilátoru. Přesnost tohoto dynamometru je od $\pm 0,25\%$ do $\pm 0,5\%$ z plné výchyly. V tabulce 3.1 jsou uvedeny základní vlastnosti hysterézního dynamometru MAGTROL HD 400-8NA-0130.

Typ	Série	Maximální krouticí moment [mN.m]	Volnoběžný moment při 1000 ot/min [mN.m]	Nominální moment setrvačnosti [kg.m ² i]	Maximální výkon		Maximální otáčky [ot/min]	Typ chlazení
					při 5 min. [W]	trvalý [W]		
HD-400	8N	280	2	$2,1 \times 10^{-5}$	200	55	25000	Proudění vzduchu (ventilátor)

Tabulka 3.1 Základní vlastnosti hysterézního dynamometru MAGTROL HD 400-8NA-0130



Obr. 3.8 MAGTROL HD 400-8NA-0130 - hysterézní dynamometr s připojeným motorkem v upínací hlavě připojeným na zdroj napětí MANSON SPS 9400

Dynamometr s hysterézní brzdou MAGTROL HD 510-8NA-0130

Hysterézní dynamometr sloužící k provádění měření na elektromotorcích malých výkonů poskytující přesné zatížení krouticího momentu nezávisle na otáčkách hřídele s maximální hodnotou krouticího momentu 850 [mNm], maximálním výkonem 750 [W] (po dobu max. 5-ti minut) a maximálních otáčkách 25000 [ot/min]. Chlazení je realizováno pomocí vestavěného ventilátoru, navíc u tohoto typu dynamometru je možnost připojení chladicího systému využívajícím jako chladicí médium stlačený vzduch. Na tomto dynamometru je možné provádět rovněž životnostní zkoušku po dobu měření až 300 hodin. Přesnost tohoto dynamometru je od $\pm 0,25\%$ do $\pm 0,5\%$ z plné výchylky. V tabulce 3.2 jsou uvedeny základní vlastnosti hysterézního dynamometru MAGTROL HD 510-8NA-0130. [7]

Typ	Série	Maximální krouticí moment [mN.m]	Volnoběžný moment při 1000 ot/min [mN.m]	Nominální moment setrvačnosti [kg.m ² i]	Maximální výkon		Maximální otáčky [ot/min]	Typ chlazení
					při 5 min. [W]	trvalý [W]		
HD-510	8N	850	5	$1,09 \times 10^{-4}$	750	375	25000	Proudění vzduchu (ventilátor), chlazení stlačeným vzduchem

Tabulka 3.2 Základní vlastnosti hysterézního dynamometru MAGTROL HD 510-8NA-0130



Obr. 3.9 MAGTROL HD 510-8NA-0130 - hysterézní dynamometr s možností připojení chladicího systému využívajícím jako chladicí médium stlačený vzduch

4. Pracoviště pro měření na elektromotorech malých a velmi malých výkonů

4.1 Vybavení pracoviště

Pracoviště je kompletně vybaveno pro realizaci měření elektromotorů malých a velmi malých výkonů a je složeno z následujících komponent:

1. Pracovní stůl - slouží k bezpečnému uložení veškerých komponent potřebných k realizaci měření.
2. Stejnosměrný zdroj MANSION SPS 9400 - rozsah napětí 3 - 15 [V], proud 40 [A], zdroj je vybaven LED displejem pro zobrazení hodnot napětí a proudu.
3. Napájecí pult - umožňuje napájení měřeného elektromotoru regulovatelným zdrojem z pultu Dt7 v těchto rozsazích:

SS napětí : 0 - 230 [V],

ST napětí : 1f - 0 - 230 [V],

ST napětí : 3f - 0 - 400 [V].

4. MAGTROL DSP 6001 - vysokorychlostní programovatelný řídicí systém pro dynamometry - slouží k řízení dynamometrů v závislosti na měřeném elektromotoru. Zařízení umožňuje buď přímé změny nastavení dynamometru, nebo změny nepřímé prostřednictvím připojeného notebooku vybaveným softwarem pro testování elektromotorů M - TEST 5.0.
5. MAGTROL 6510e – jednofázový výkonový analyzátor – slouží pro číslicové měření stejnosměrných a střídavých hodnot do 10 [kHz] – měří: napětí, proud, výkon VA, frekvenci, činitel výkyvu, účinník a špičkové hodnoty napětí a proudu. Pro potřeby měření je možné připojit třífázový výkonový analyzátor MAGTROL 6530.
6. Switch box – slouží k přepínání až třech připojených dynamometrů – přepnutím lze zvolit, který dynamometr bude připojen na DSP 6001 a 6510e a pomocí kterého tedy bude prováděno měření.
7. MAGTROL HD 400-8NA-0130 - Dynamometr je přišroubován v poloze vhodné k měření (vzhledem k velikosti motoru) k upínací desce s vyfrézovanými T - drážkami. K této upínací desce je rovněž připevněn odklápěcí kryt z nerezové oceli, kterým se dynamometr s připevněným elektromotorem při jeho uvedení do chodu musí z bezpečnostních důvodů vždy zakrýt.

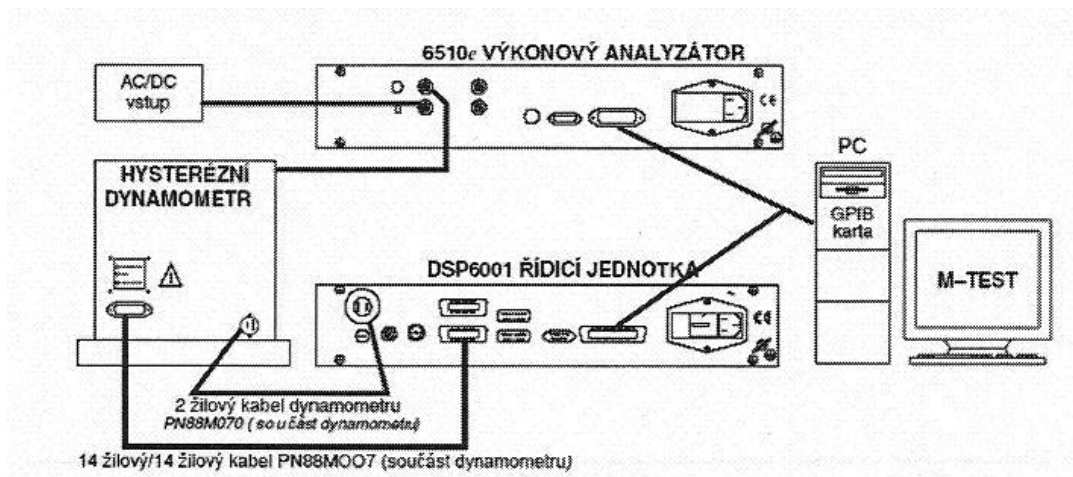
8. MAGTROL HD 510-8NA-0130 - Dynamometr je přišroubován v poloze vhodné k měření (vzhledem k velikosti motoru) k upínací desce s vyfrézovanými T - drážkami. K této upínací desce je rovněž připevněn odklápěcí kryt z nerezové oceli, kterým se dynamometr s připevněným elektromotorem při jeho uvedení do chodu musí z bezpečnostních důvodů vždy zakrýt.
9. Upínací hlava - slouží k bezpečnému a pevnému uložení elektromotoru. Upíná se pomocí šroubů do upínací desky s vyfrézovanými T - drážkami tak, aby hřídel elektromotoru byla v jedné ose s hřídelí dynamometru. Mezi hřídelemi je upevněna vhodná spojka, buď pomaloběžná či rychloběžná, v závislosti na typu měřeného elektromotoru. Vlastní elektromotor se do upínací hlavy upne pomocí systému upínacích šroubů co nejpevněji, abychom potlačili vznik rušivých vibrací.
10. Notebook - je vybaven měřicím softwarem M - TEST 5.0, pomocí kterého je prováděno vlastní měření elektromotoru. Rovněž je vybaven sadou Microsoft Office 2007 pro kompletní úpravu naměřených hodnot. Pro úplnou práci s naměřenými hodnotami je vhodné k notebooku připojit rovněž kompatibilní tiskárnu.
11. Bočník - slouží ke zvětšení měřicího rozsahu proudu ve výkonovém analyzátoru.
12. Kabeláž - slouží k propojení všech komponentů pracoviště.



Obr. 4.1 Celkový pohled na pracoviště

4.2 Zapojení pracoviště pro měření elektromotorů malých a velmi malých výkonů

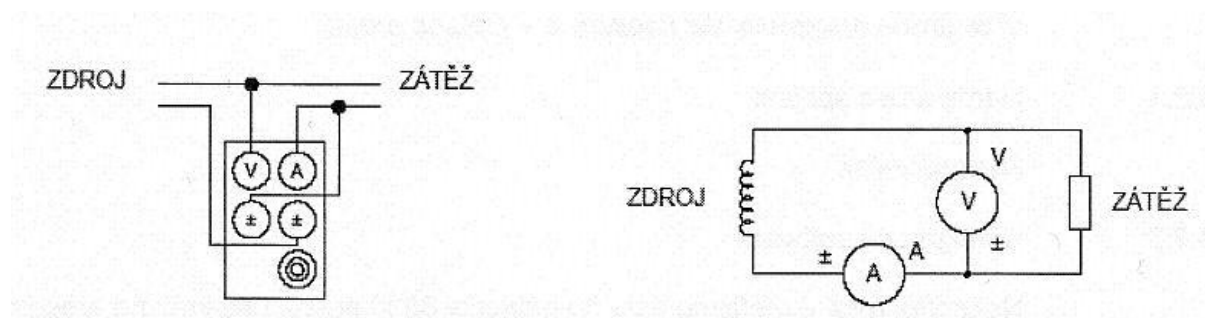
Jednotlivé komponenty pracoviště jsou zapojeny dle následujícího schématu (ve schématu není uvedeno zapojení switch boxu, jedná se pouze o jednoduchý přepínač mezi dynamometry v případě zapojení více dynamometrů): [7]



Obr. 4.2 Blokové schéma zapojení jednotlivých komponentů pracoviště

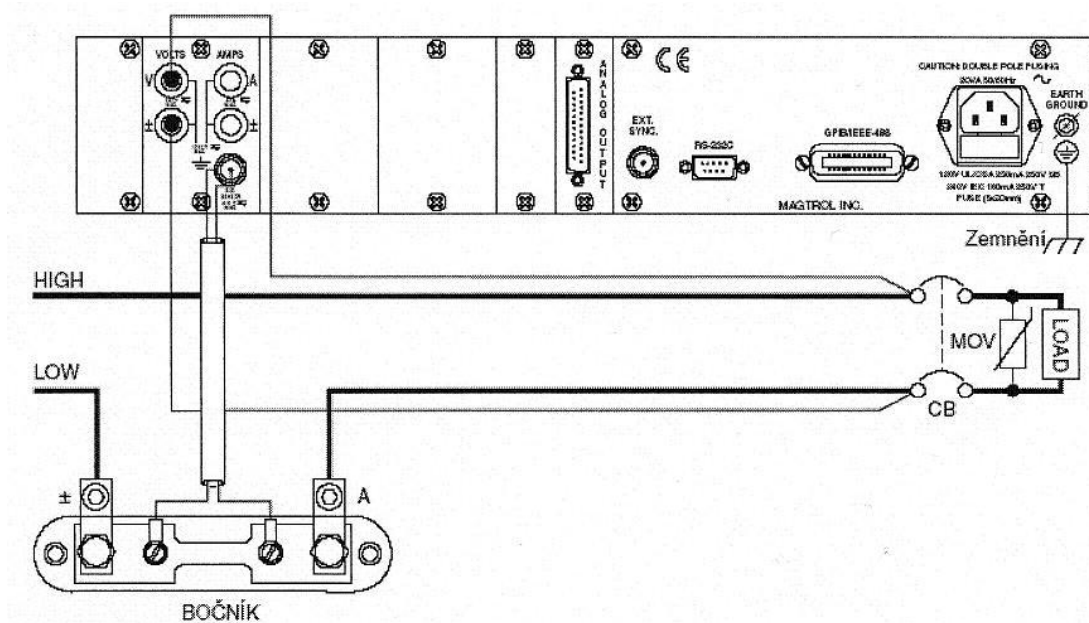
4.2.1 Zapojení elektromotoru s jednofázovým výkonovým analyzátozem

Při jednofázovém, dvoudrátovém měření musíme zdroj napětí, výkonový analyzátor MAGTROL 6510e a měřený elektromotor zapojit dle jednoduchého schématu:



Obr. 4.3 Schéma propojení zdroje se zátěží přes výkonový analyzátor pro jednofázové dvoudrátové měření

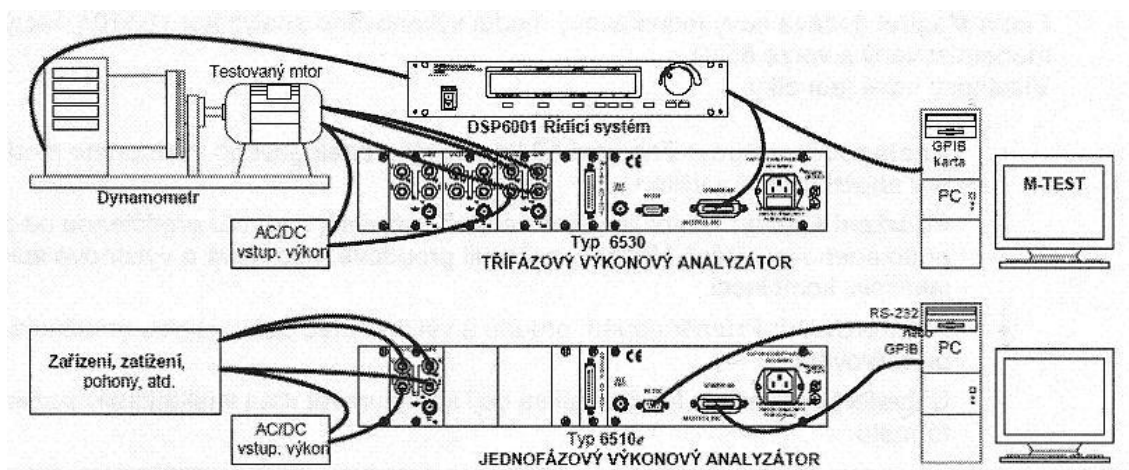
Pokud proud v tomto obvodu trvale dosahuje hodnoty 20A a více, je nutné zapojit do obvodu bočník dle následujícího schématu: [7]



Obr. 4.4 Schéma zapojení bočnicku

4.2.2 Zapojení elektromotoru s třífázovým výkonovým analyzátořem

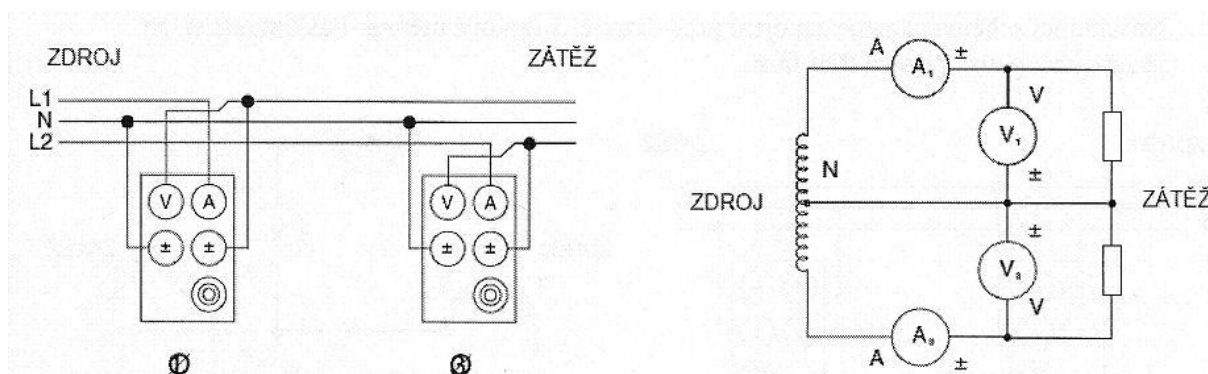
V případě potřeby zapojení třífázového výkonového analyzátořu MAGTROL 6530 se postupuje dle následujícího schématu (pro názornost je uvedeno porovnání se zapojením jednofázového výkonového analyzátořu):



Obr. 4.5 Blokové schéma zapojení třífázového výkonového analyzátořu

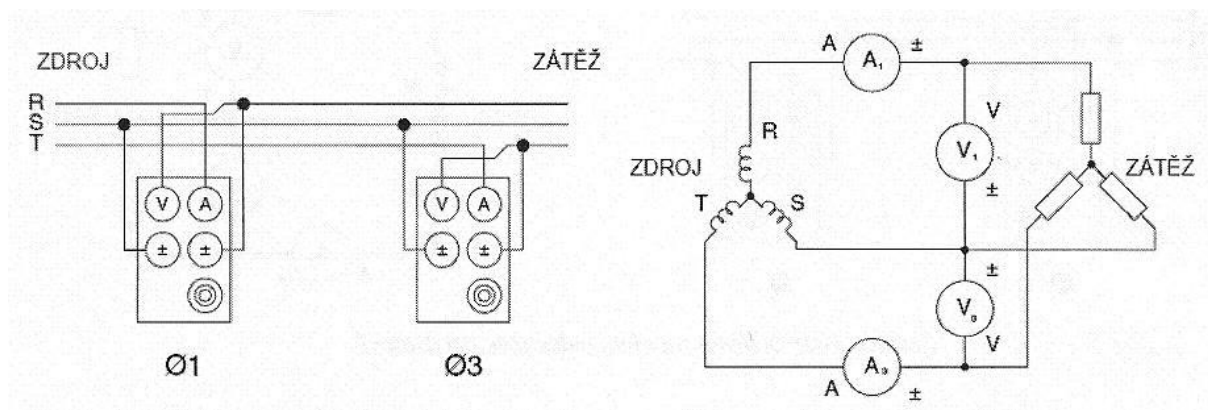
Jednotlivé typy zapojení pro měření pomocí třífázového výkonového analyzátoru:

1. Měření jednofázové, dvoudrátové - schéma zapojení je shodné jako u jednofázového výkonového analyzátoru viz. kapitola 4.2.1. Na třífázovém výkonovém analyzátoru se zdroj napětí a zátěž připojí do libovolného vstupního modulu.
2. Měření jednofázové, třídrátové - připojení výkonového analyzátoru dle schématu:



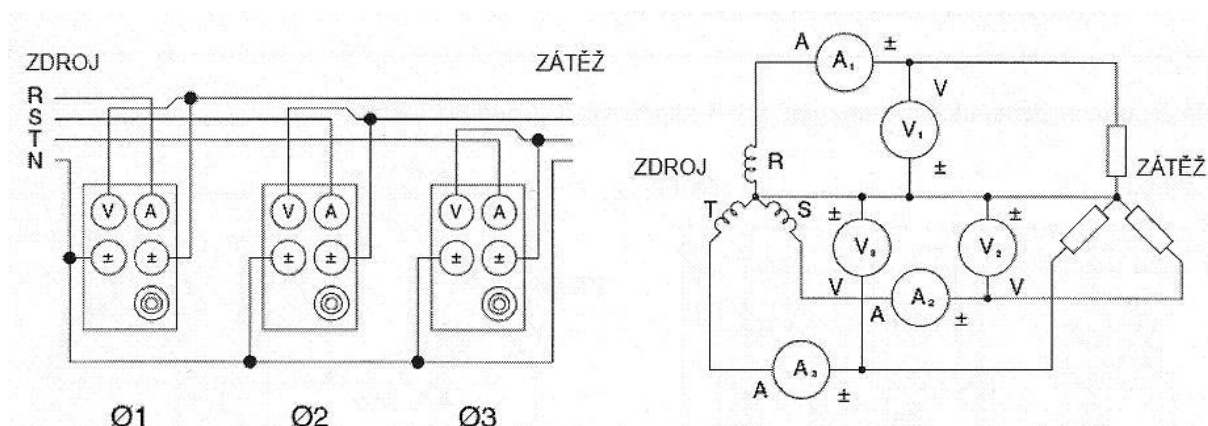
Obr. 4.6 Schéma zapojení jedné fáze, třídrátové

3. Měření třífázové, třídrátové - připojení výkonového analyzátoru dle schématu:



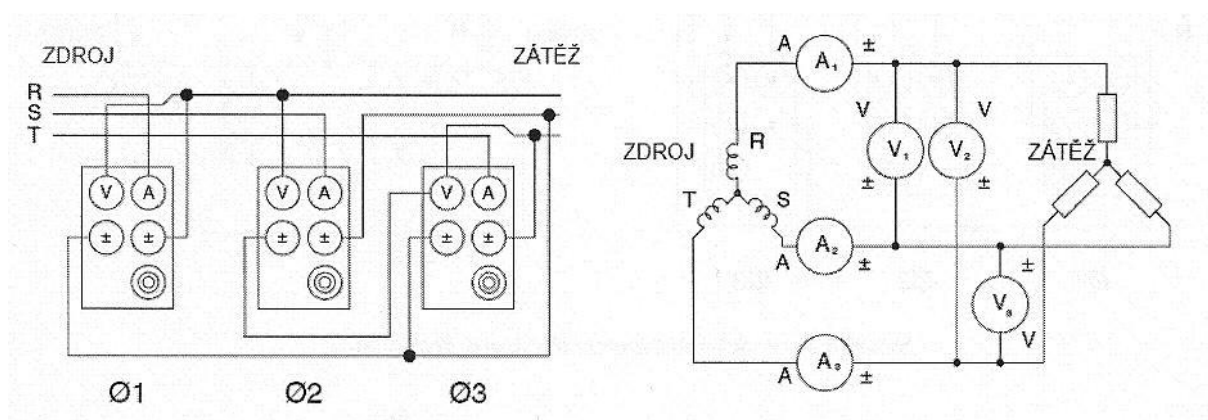
Obr. 4.7 Schéma zapojení třífázové, třídrátové

4. Měření třífázové, čtyřdrátové - připojení výkonového analyzátoru dle schématu:



Obr. 4.8 Schéma zapojení třífázové, čtyřdrátové

5. Měření třífázové, tříproudové - připojení výkonového analyzátoru dle schématu:



Obr. 4.9 Schéma zapojení třínapěťové, tříproudové

Pokud proud v těchto typech zapojení trvale dosahuje hodnoty 20A a více, je nutné zapojit do obvodu bočník dle schématu viz Obr. 4.4. [7]

4.3 Realizace měření pomocí programu M-TEST 5.0

Pro úspěšnou realizaci měření je nutné před spuštěním programu M-TEST 5.0 zkontrolovat správnost zapojení pracoviště. Před spuštěním programu M-TEST 5.0 je rovněž nutné vypnout výkonový analyzátor 6510e, řídicí jednotku DSP 6001, ventilátor na použitém dynamometru a zdroj napětí připojeném na elektromotoru (motor nesmí být v chodu). Nyní je možné spustit program M-TEST 5.0, nastavit měření a poté samotné měření provést.

4.3.1 Záložka Start

S programem smí pracovat pouze osoby s uděleným uživatelským jménem a heslem. Po stisknutí tlačítka *Login* se vyplní uživatelské jméno a heslo a potvrdí se stiskem tlačítka *Login*.

Z nabízených možností se vybere jazyk, který bude program používat. Jelikož program není přeložen do češtiny, je ponechán jako zvolený jazyk angličtina, která je v programu přednastavena jako výchozí jazyk.

Tlačítka *Load setup* / *Save setup* - slouží pro nahrání resp. uložení nastavení, které bylo použito pro konkrétní měření. Pokud je potřeba v programu pouze prohlížet nastavení předchozích měření, pomocí tlačítka *Load setup* se konkrétní nastavení vyhledá. Pokud je prováděno nové měření, je nutné se vždy po vykonání měření vrátit do záložky *Start* a po stisku tlačítka *Save setup* toto nastavení pod libovolným názvem uložit. Uložené soubory typu setup mají vždy příponu *.msf a jsou uloženy ve výchozí složce C:\Magtrol\Setup Files.

Tlačítka *Load data* / *Save data* - slouží pro nahrání resp. uložení dat, která byla naměřena pro konkrétní měření elektromotor. Postup ukládání a načítání dat je stejný jako v případě ukládání a načítání nastavení měření. Uložené soubory typu data mají vždy příponu *.mdf a jsou uloženy ve výchozí složce C:\Magtrol\Data Files.

Tlačítka *Load report* / *Save report* - slouží k zobrazení zprávy o měření, pokud je vytvořena (viz kapitola 4.3.11 záložka *Reports*) řídí se stejnými pravidly pro načítání a uložení jako předchozí typy souborů, soubory typu report mají vždy příponu *.rpt a jsou uloženy ve výchozí složce C:\Magtrol\Report Files. [8]



Obr. 4.10 Záložka Start

4.3.2 Záložka Configure hardware

V této záložce se nastavují veškeré připojené hardwarové komponenty. Nyní je nutné zapnout výkonový analyzátor 6510e a řídicí jednotku DSP 6001. Po stisku tlačítka *Find devices* program automaticky vyhledá tyto připojené jednotky. Je nutné zkontrolovat bitovou adresu těchto jednotek (v tomto případě má jednotka 6510e bitovou adresu 14, jednotka DSP 6001 pak adresu 9). Tuto adresu lze fyzicky zkontrolovat přímo na analyzátoru a řídicí jednotce stiskem tlačítek *shift + com setup*, načež se bitová adresa jednotek zobrazí na jejich displejích.

Nastavení dynamometru (Dynamometer controller):

- nejprve je zvoleno nastavení řídicí jednotky tak, že je zadán model jednotky - v tomto případě DSP 6001,
- dále je zvolena jednotka kroutícího momentu - mN.m,
- volba rozhraní (interface) - je zvolena sběrnice GPIB,
- Acquire Aux/TSC2 - je zvoleno *No*. Volba *Yes* je zvolena pouze v případě použití AUX vstupu na DSP 6001,
- Airflow alarm - je zvoleno *Disable*, zařízení pro chlazení stlačeným vzduchem totiž není připojeno,
- External alarm - je zvoleno *Disable*,
- Pre-Load - procentní hodnota proudu pro brzdu dynamometru v módu open loop - je nastaveno 0%.

Nastavení použitého dynamometru:

- Instrument type - (druh dynamometru) - je zvoleno HD,
- volba modelu - z nabídky je vybrán zapojený model (buď HD-400-8 nebo HD-510-8),
- volba enkodéru - je zvoleno 60-ppr nebo 600-ppr, tuto hodnotu je rovněž nutné fyzicky přepnout na vlastním dynamometru tak, aby odpovídala nastavené hodnotě v programu,
- Quadrature input - obdélníkový snímač otáček, je zvoleno *Disable*,
- Torque filter - nastavení filtru na kroutící moment v rozsahu 0-10Hz, je zvoleno 10Hz.

Po provedení tohoto nastavení lze stisknout tlačítko *Load defaults*, program načte na základě volby dynamometru jeho přednastavené hodnoty otáček, výkonu a kroutícího momentu. Jelikož není připojen druhý kanál, v pravé části nastavení dynamometru je zvolena jako instrument type volba *Auxiliary*.

Nastavení napájení (Power measurement):

- je nutné vybrat výkonový analyzátor - v tomto případě 6510e,
- volba rozhraní (interface) - je zvolena sběrnice GPIB,

- External shunt (použití bočníku) - není-li bočník použit, je zvoleno „No“, pokud ano, zvoleno *Yes* a *shunt scaling* je nastaveno na hodnotu 1,0000.

Nastavení zdroje a senzoru (Power supply a Sensor input) - v obou případech je zvoleno v nastavení device - none (z nabízených možností totiž nelze vybrat, jelikož pracoviště není nabízenými zdroji vybaveno).

Po nastavení všech hodnot je nutné stisknout tlačítko *Apply settings*, jehož stiskem je potvrzeno požadované nastavení dynamometru, řídicí jednotky a výkonového analyzátoru. [8]



Obr. 4.11 Záložka Configure hardware

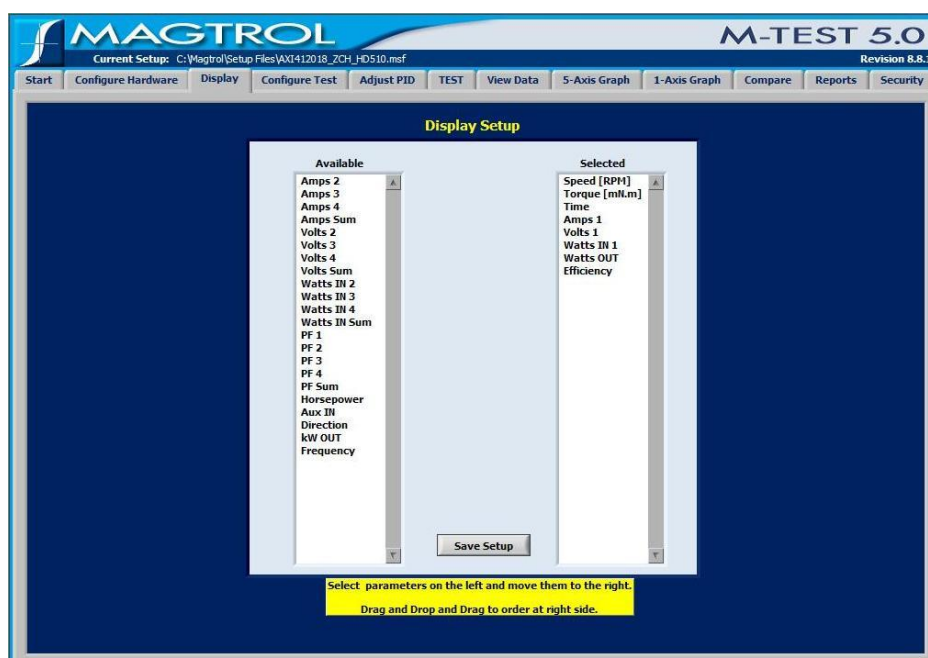
4.3.3 Záložka Display

V této záložce lze nastavit, které veličiny jsou požadovány v rámci měření. V pravé části je seznam veličin k měření, přesunem do levé části jsou vybrány ty veličiny, které budou měřeny a zobrazovány ve výsledcích měření. Program umožňuje měřit následující veličiny:

- Torque - kroutící moment,
- Speed - otáčky,
- Time - čas,
- Auxiliary input - vstup AUX,
- Amps 1,2,3 - proudy 1,2,3,
- Amps sum - celkový proud,
- Volts 1,2,3 - napětí 1,2,3,

- Volts sum - celkové napětí,
- Input Watts 1,2,3 - vstupní výkon 1,2,3,
- Input Watts sum - celkový vstupní výkon,
- Power factor 1,2,3 - účinník $\cos \varphi$ 1,2,3,
- Power factor sum - celkový účinník $\cos \varphi$,
- Output Watts - výkon na hřídeli,
- Horsepower - koňská síla,
- Efficiency - účinnost,
- Direction of rotation - směr otáčení.

V této záložce je již možné uložit nastavení měření stiskem *Save setup*, pro přehlednost ukládání je vhodnější ukládat nastavení až po dokončení celého měření v záložce Start viz. kapitola 4.3.1 společně s naměřenými daty a zprávami o měření. [8]



Obr. 4.12 Záložka Display

4.3.4 Záložka Configure test

V této záložce je nutné nastavit typ testu, který bude použit pro měření elektromotor. Nejvhodnějším typem testu je tzv. Ramp test, který podrobuje elektromotor měření po celou dobu chodu, tedy od rozběhu až po doběh motoru. Mimo Ramp testu nabízí program ještě další typy testů, ty jsou však nevhodné pro zjištění celé charakteristiky měřeného elektromotoru. Rozběh a doběh motoru je realizován vlastním hysterézním dynamometrem. Ramp test je nastaven dle následujících požadavků:

- Inertia cancellation - zrušení setrvačnosti - je zvoleno *Yes*
- Ramp method - volba metody - je zvoleno *Average-Down/Up*
- Ramp rate - nastavení rychlosti zpomalování během testu v ot/s^2 - je zvolena hodnota 1000
- Max. a Min. speed - nastavení maximálních a minimálních otáček elektromotoru - hodnota je závislá na měřeném elektromotoru
- Max. Torque - nastavení maximálního kroutícího momentu - je nutné nastavit takovou hodnotu, pro kterou je dynamometr schopen měřit (HD400-8 = 280 [mN.m], HD510-8 = 850 [mN.m]).
- Dynamic PI scaling - je zvoleno *Off*
- Special data points - je zvoleno *No*
- Locked rotor - uzamčení rotoru - není vhodné rotor uzamykat

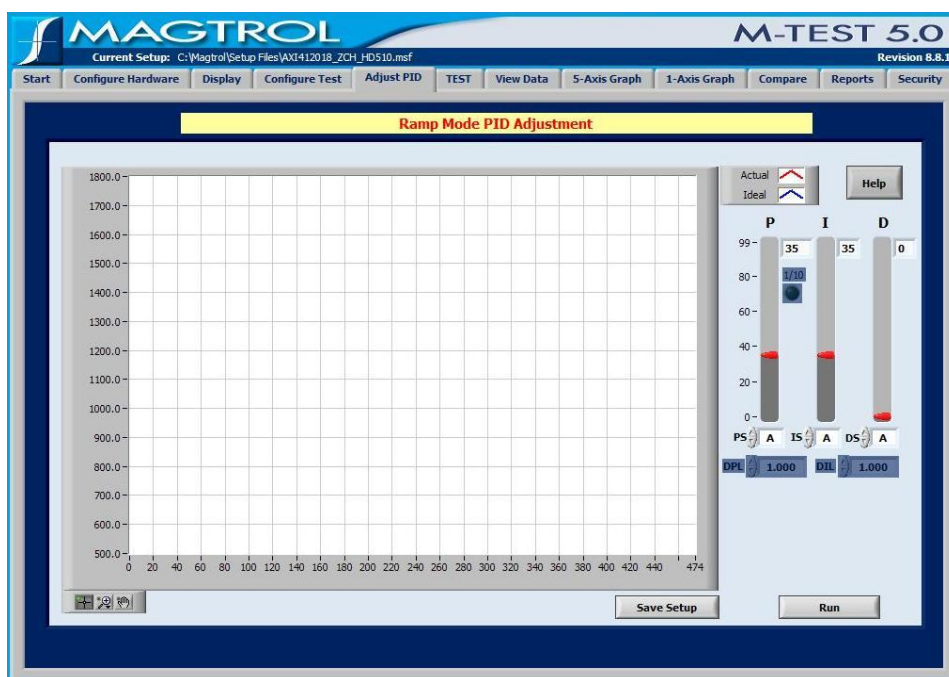
V dolní části záložky lze nastavit ukládání dat, toto nastavení však není podstatné pokud naměřená data budou ukládána až po skončení testu v záložce Start viz. kapitola 4.3.1. Je ovšem vhodné zde vyplnit Serial number - tedy sériové číslo měřeného elektromotoru pro lepší orientaci v uložených datech. [8]



Obr. 4.13 Nastavení Ramp testu

4.3.5 Záložka Adjust PID

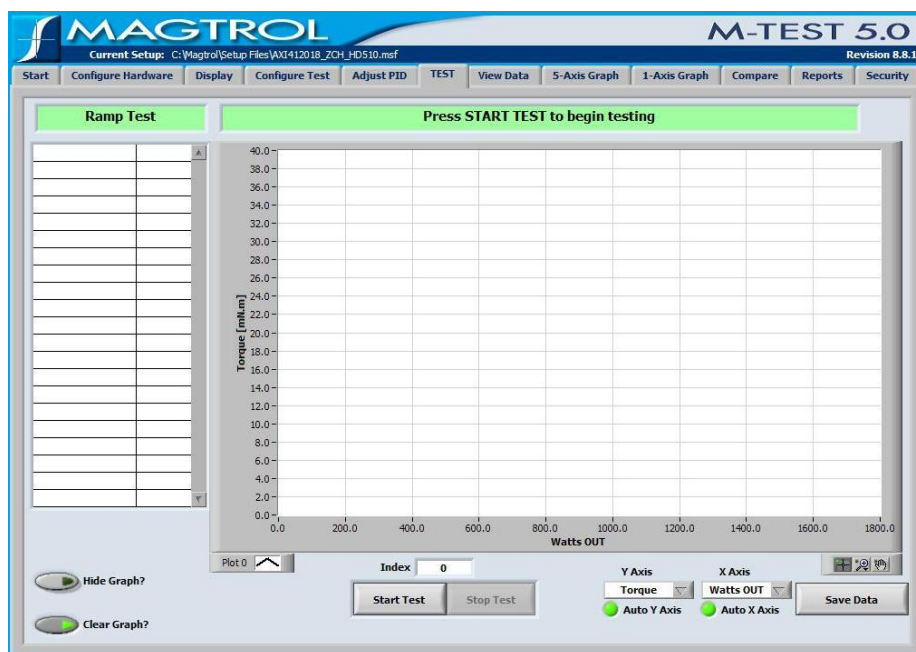
V této záložce se nastavují složky P - poměrné zesílení, I - integrace a D - derivace pro řídicí jednotku DSP 6001. Nastavení těchto složek je však nepodstatné pro Ramp test, pokud je v nastavení Ramp testu zvolena volba Dynamic PI scaling v poloze *off*. Tuto záložku je tedy v takových případech možné vynechat. [8]



Obr. 4.14 Záložka Adjust PID

4.3.6 Záložka TEST

Zde je prováděn vlastní test měřeného elektromotoru. Nyní je možné spustit elektromotor (zároveň je nepostradatelné zapnout ventilátor dynamometru) a lze stisknout tlačítko *Run test*. Test je možné stiskem tlačítka *Stop test* kdykoliv během průběhu zastavit. Pokud test proběhne v pořádku v celém průběhu a program neohlásí chybu, je možné elektromotor zastavit, vypnout ventilátor dynamometru a přejít k prohlížení naměřených hodnot. [8]



Obr. 4.15 Záložka TEST

4.3.7 Záložka View data

V této záložce jsou v tabulce uvedeny všechny hodnoty naměřené v průběhu testu elektromotoru s možností jejich přímého tisku z programu stiskem tlačítka *Print*. [8]

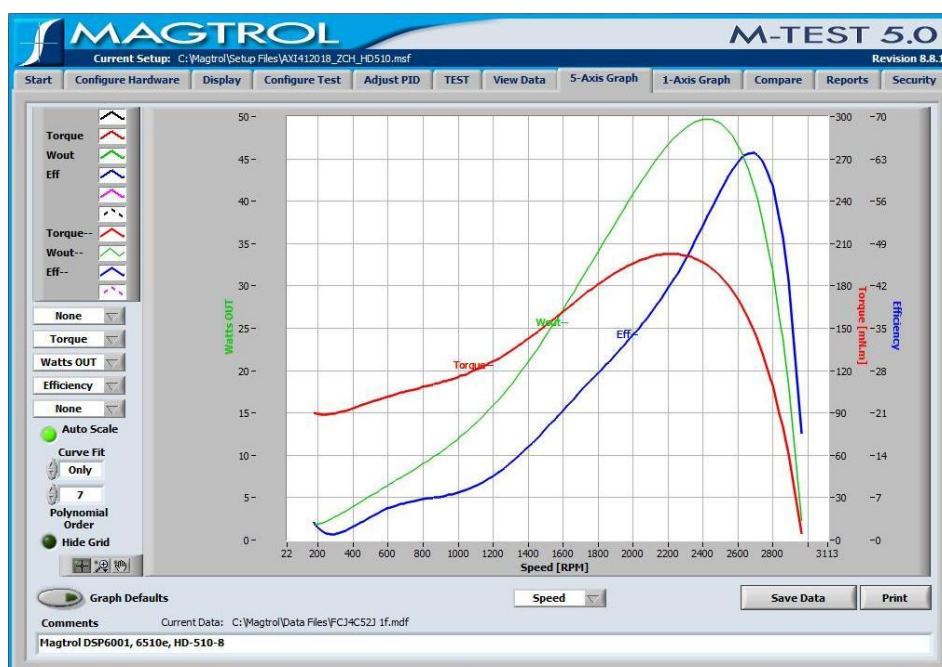
Speed [RPM]	Torque [mN.m]	Time	Amps 1	Volts 1	Watts IN 1	Watts OUT	Efficiency
3154.000	15.340	0.000	1.674	7.997	11.243	5.067	45.064
3154.000	14.800	0.000	1.666	7.998	11.185	4.888	43.696
3153.000	14.855	0.031	1.666	7.998	11.189	4.904	43.628
3153.000	14.930	0.062	1.667	7.998	11.193	4.929	44.034
3151.000	15.080	0.078	1.667	7.998	11.202	4.976	44.413
3150.000	15.130	0.093	1.671	7.998	11.220	4.991	44.472
3147.000	15.140	0.109	1.674	7.998	11.244	4.989	44.369
3144.000	15.355	0.140	1.679	7.997	11.275	5.056	44.830
3140.000	15.730	0.156	1.685	7.997	11.321	5.172	45.685
3135.000	15.995	0.171	1.692	7.997	11.364	5.251	46.206
3126.000	16.610	0.187	1.700	7.997	11.461	5.437	47.456
3117.000	17.530	0.218	1.714	7.997	11.520	5.722	49.709
3112.000	17.667	0.218	1.723	7.997	11.571	5.764	49.881
3102.000	18.253	0.234	1.737	7.997	11.658	5.929	50.976
3088.000	18.803	0.265	1.764	7.997	11.857	6.081	51.458
3073.000	19.535	0.281	1.791	7.996	12.058	6.287	52.290
3068.000	20.035	0.296	1.804	7.996	12.146	6.436	53.135
3052.000	20.925	0.312	1.829	7.995	12.315	6.687	54.554
3032.000	21.958	0.343	1.863	7.995	12.556	6.972	55.845
3012.000	22.955	0.359	1.901	7.994	12.819	7.240	56.810
3006.000	23.326	0.375	1.914	7.994	12.903	7.343	57.236
2991.000	23.940	0.375	1.935	7.992	13.044	7.499	57.936
2964.000	25.031	0.406	1.977	7.992	13.337	7.769	58.867
2941.000	25.984	0.437	2.017	7.991	13.612	8.003	59.523
2927.000	26.647	0.453	2.047	7.990	13.811	8.168	59.840
2910.000	27.476	0.453	2.071	7.990	13.973	8.373	60.735
2887.000	28.631	0.484	2.123	7.989	14.321	8.656	61.370
2864.000	29.757	0.500	2.161	7.988	14.589	8.925	62.036
2853.000	30.308	0.531	2.180	7.988	14.719	9.055	62.239
2838.000	31.069	0.531	2.207	7.987	14.903	9.233	62.773
2815.000	32.128	0.562	2.249	7.986	15.183	9.471	63.190

Obr. 4.16 Záložka View data

4.3.8 Záložka 5 - axis graph

Slouží pro zobrazení naměřených hodnot v 5-ti osém grafu. Lze zde libovolně nastavit, které křivky se budou do grafu vynášet - nastaví se veličiny na osách x a y ze seznamu vytvořeném v záložce Display viz kapitola 4.3.3. V levém horním rohu záložky 5 - axis graph lze nastavit jakou bude mít barvu křivka zvolené veličiny - kliknutím pravým tlačítkem myši se rozbalí nabídka nastavení křivky, kde můžeme nastavit barvu, styl šírky křivky atd.

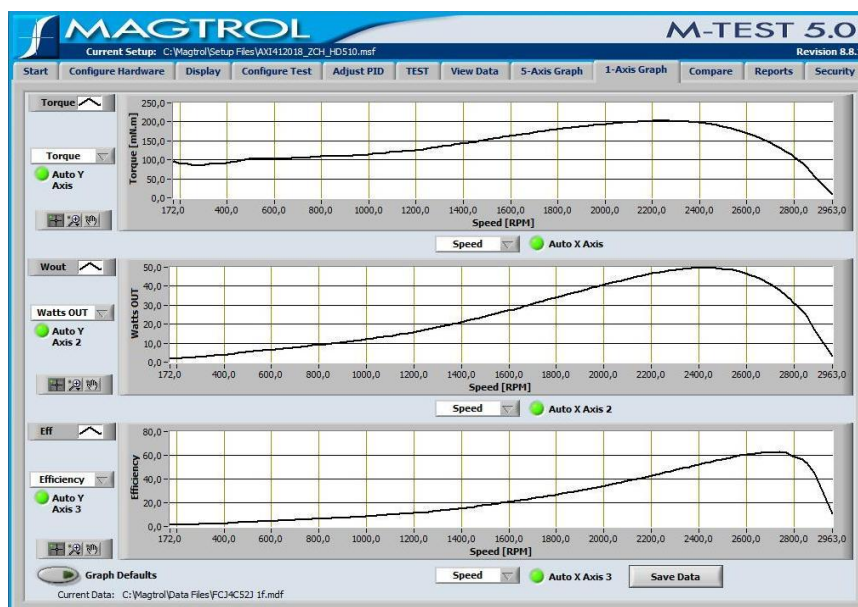
Přepínáním *Hide*, *Show* a *Only* v položce *Curve fit* lze vybrat zobrazované křivky - skutečný průběh, ideální průběh nebo oba dohromady. Volbou hodnoty *Polynomial order* lze zvolit vyhlazení zobrazované křivky, je však nutné zohlednit případné zkreslení průběhu veličiny. V dolní části záložky lze vložit komentář - sem je vhodné vepsat označení motoru a druh měření. Příklad zobrazení třech průběhů (výkon na hřídeli, účinnost a moment v závislosti na otáčkách asynchronního motoru) viz obr. 4.17. [8]



Obr. 4.17 Záložka 5 - axis graph

4.3.9 Záložka 1 - axis graph

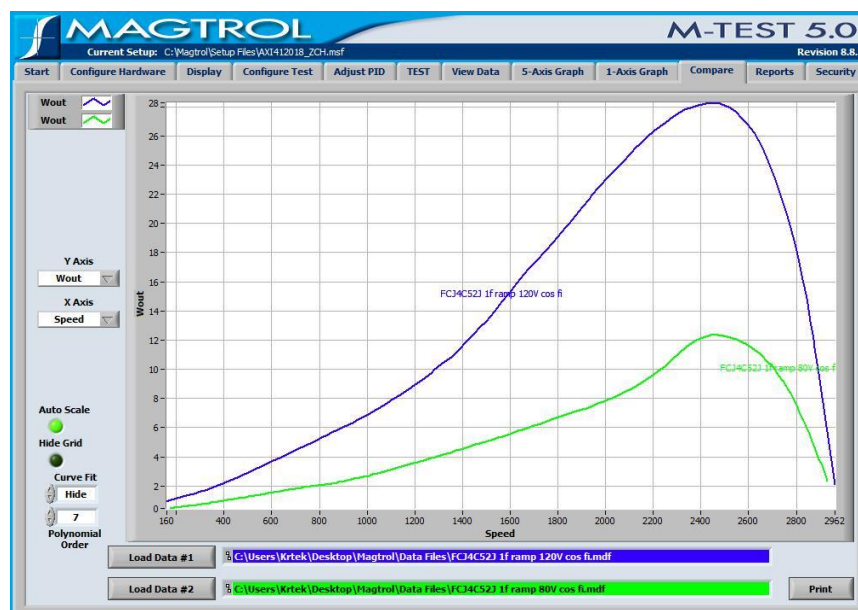
Zde je možné zobrazit závislost dvou veličin v jednoosém grafu - nastavení zobrazení je prakticky totožné jako v 5-ti osém grafu viz kapitola 4.3.8 s tím rozdílem, že zde je pro každou závislost zobrazen samostatný graf. Pro názornost je na obr. 4.18 uvedena závislost kroutícího momentu, výkonu na hřídeli a účinnosti na otáčkách asynchronního motoru. [8]



Obr. 4.18 Záložka 1 - axis graph

4.3.10 Záložka Compare

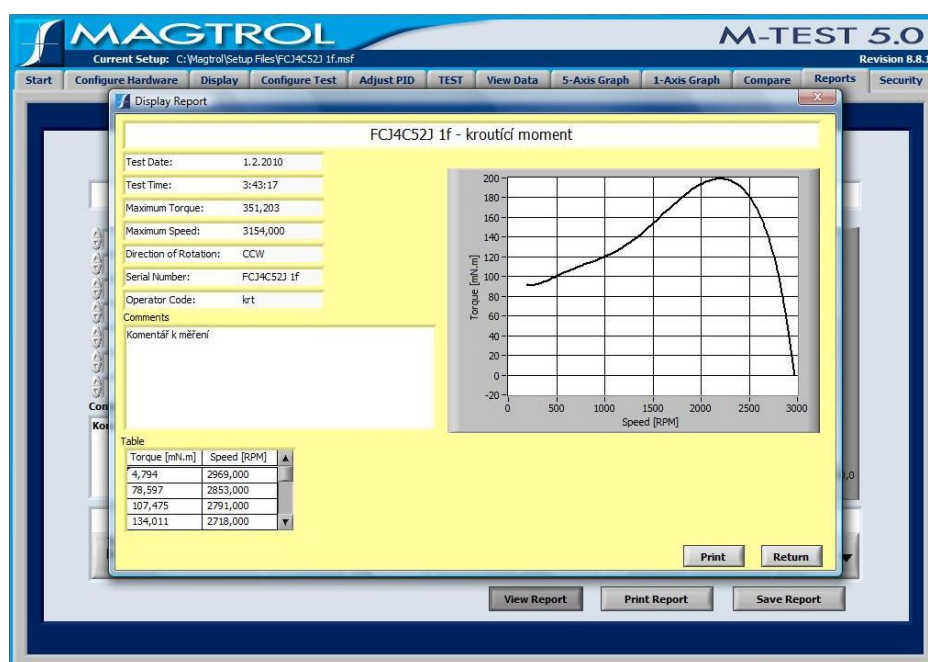
V této záložce je možné porovnávat libovolné křivky ze dvou na sobě nezávislých měření. Stiskem *Load data #1* - načteme data prvního měření, stiskem *Load data #2* - načteme data druhého měření. Pro názornost je na obr. 4.19 zobrazen průběh výkonu na hřídeli v závislosti na otáčkách stejného asynchronního motoru při odlišném nastavení napájecího napětí. [8]



Obr. 4.19 Záložka Compare

4.3.11 Záložka Reports

V této záložce je možné nastavit, co je vhodné uložit jako zprávu o měření. Do horní kolonky se vepíše název měření, v pravém sloupci se vyberou zobrazované hodnoty (např. datum a čas měření, maximální otáčky, kroutící moment atd.) a jsou nastaveny osy zobrazovaného grafu. Do kolonky pod výběrem zobrazovaných hodnot je možné vepsat libovolný komentář. Pro náhled zprávy o měření lze stisknout tlačítko *View report*, pro přímý tisk *Print report*, nebo lze zprávu o měření uložit stiskem tlačítka *Save report*. [8]



Obr. 4.20 Záložka Reports - náhled zprávy o měření

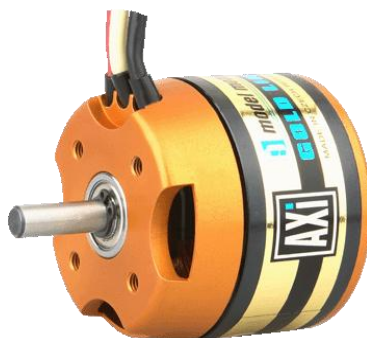
4.3.12 Záložka Security

V této záložce se nastavují uživatelská jména a hesla osob pracujících v programu M-TEST 5.0, s vlastním měřením však žádnou souvislost nemá. Oprávnění udělovat uživatelská jména a hesla je povoleno pouze osobě s plným přístupem do programu M-TEST 5.0, kde zvolí, do kterých záložek bude mít další uživatel přístup.

5. Měření elektromotorů malých a velmi malých výkonů na novém pracovišti

5.1 Měření elektromotoru AXI 4120/18 GOLD LINE

Jedná se o profesionální střídavý bezkartáčový modelářský elektromotor společnosti Modelmotors s.r.o. s neodymovými magnety, v oblasti modelářství je využíván zejména jako pohon vrtulí akrobatických modelů letadel do hmotnosti 3500 [g]. Mechanickou odolnost elektromotoru zajišťuje uložení hřídele ve třech kuličkových ložiscích. Délka elektromotoru včetně 6 [mm] silné a 19 [mm] dlouhé hřídele je 74,5 [mm], výška činí 49,8 [mm] při hmotnosti 320 [g] včetně napájecích kabelů. Maximální hodnota otáček činí 7500 [ot/min], maximální zatížitelnost pak 55 [A] po dobu 60-ti sekund, výrobcem doporučený rozsah napájecího napětí je 8 až 14 [V] a rozsah zatěžovacího proudu 2 až 15 [A]. Jelikož se jedná o bezkartáčový střídavý elektromotor, kde je rotor tvořen neodymovými magnety a vinutí jsou uložena na statorových cívkách, je nutné pro reverzaci proudu na statoru použít regulátor Jeti Advance 70 Pro napájený ze stejnosměrného zdroje napětí, který plní funkci měniče napětí. Tento typ regulátoru je určen pro bezkartáčové elektromotory s napájecím napětím 5 až 15 [V] s trvalým proudem do 70 [A].

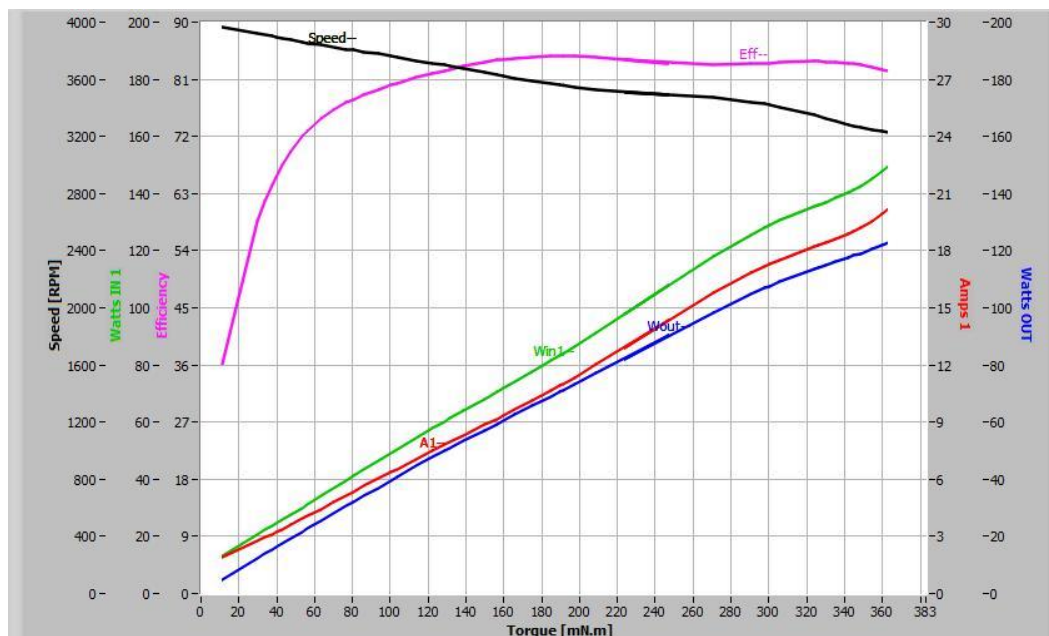


Obr. 5.1 Elektromotor AXI 4120/18 GOLD LINE

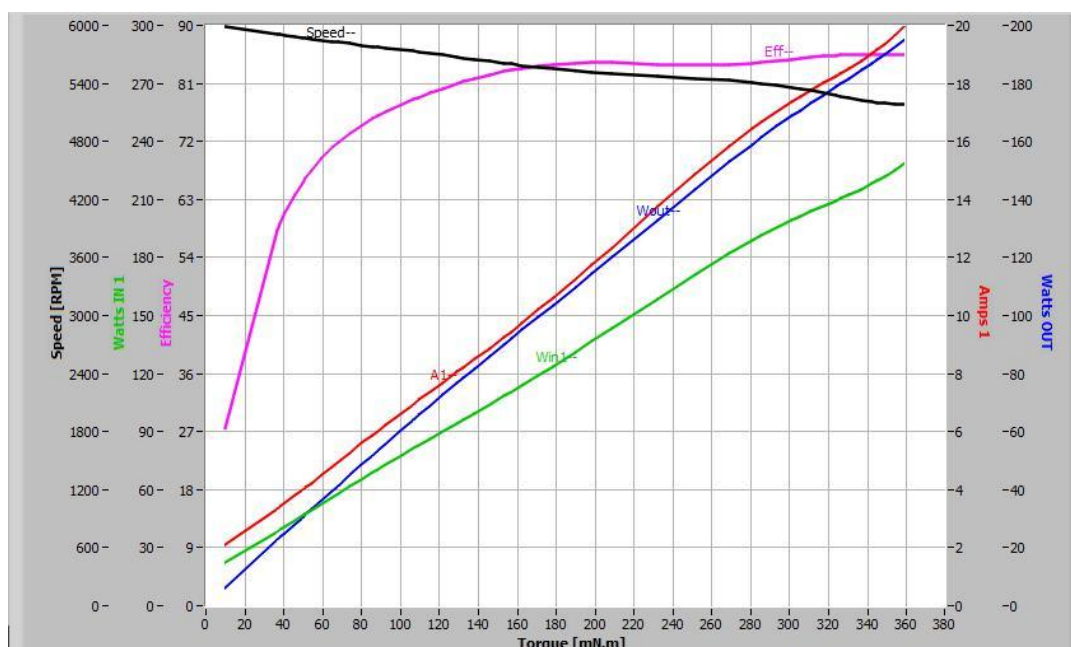
V rámci měření na hysterézním dynamometru HD 510-8NA-0130 byl tento elektromotor napájen přes regulátor Jeti Advance 70 Pro ze stejnosměrného zdroje MANSON SPS 9400, přičemž byla provedena měření pro tři hodnoty napájecího napětí: 8 [V], 12 [V] a 14 [V]. Mezi měřené veličiny byly zařazeny následující veličiny:

- otáčky [ot/min],
- krouticí moment [mN.m],
- proud [A],
- příkon [W],
- výkon na hřídeli [W],
- účinnost [%].

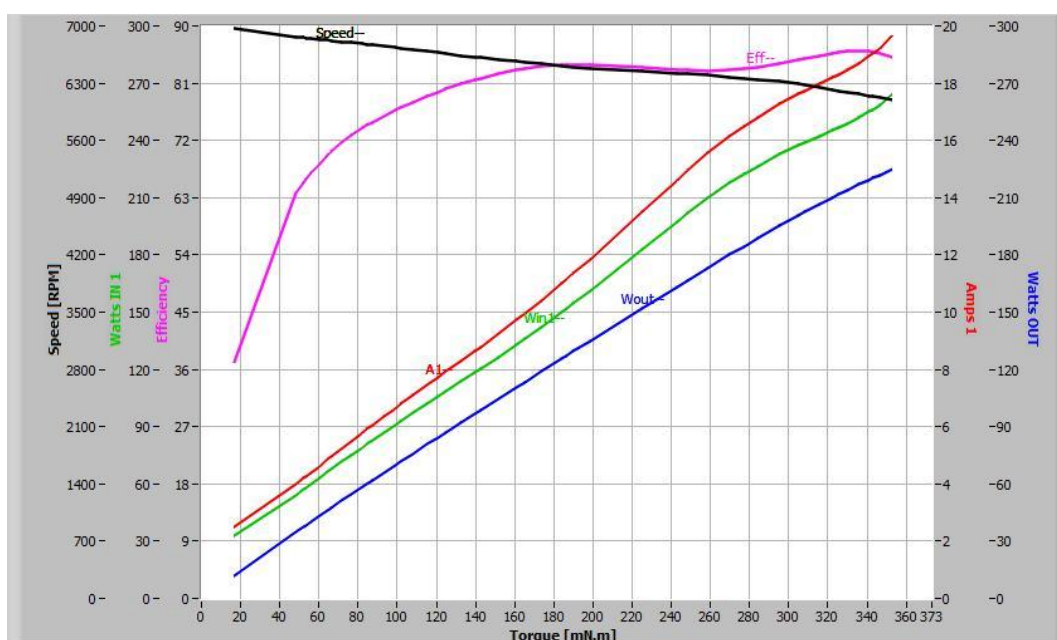
Jelikož v leteckém modelářství hraje podstatnou roli zejména krouticí moment použitého elektromotoru, jsou všechny charakteristiky modelářských elektromotorů typu AXI změřené pomocí programu M-TEST 5.0 uváděny právě v závislosti na krouticím momentu.



Obr. 5.2 Charakteristiky elektromotoru AXI 4120/18 GOLD LINE při napájecím napětí 8 [V]



Obr. 5.3 Charakteristiky elektromotoru AXI 4120/18 GOLD LINE při napájecím napětí 12 [V]



Obr. 5.4 Charakteristiky elektromotoru AXI 4120/18 GOLD LINE při napájecím napětí 14 [V]

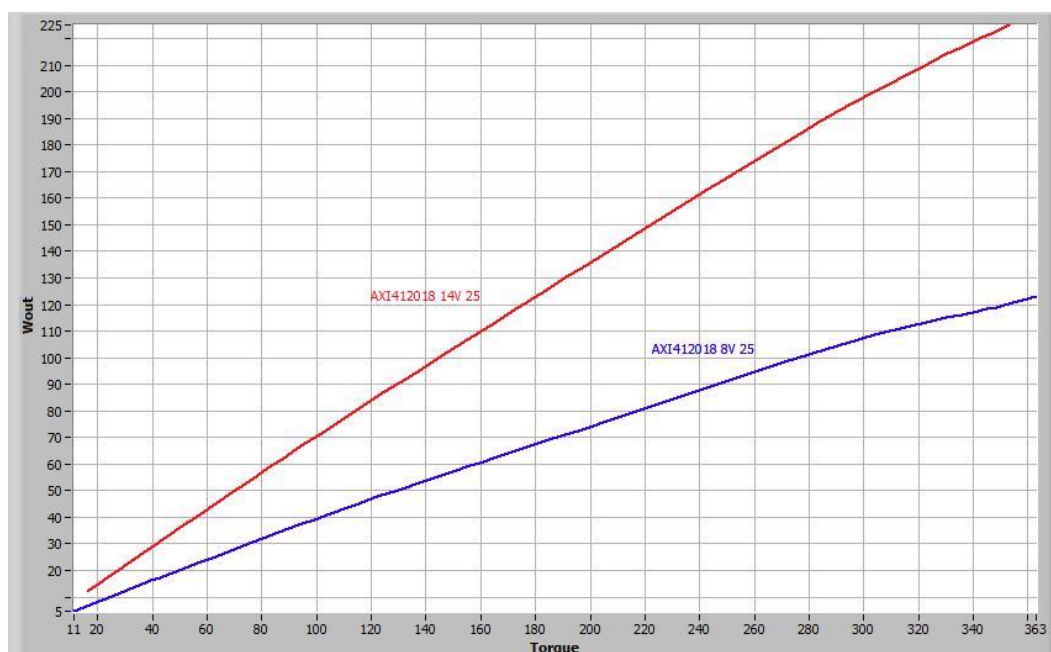
Z naměřených charakteristik pro napájecí napětí 8 [V], 12 [V] a 14 [V] vyplývá, že u elektromotoru AXI 4120/18 GOLD LINE s rostoucím kroutícím momentem roste i výkon na hřídeli (Watts OUT - modrá), proud (Amps I - červená) a příkon (Watts IN - zelená), přičemž otáčky mírně klesají (Speed - černá). Účinnost tohoto elektromotoru (Efficiency - růžová) pro všechna napájecí napětí dosahuje v ustálené části charakteristiky hodnoty 86 %, což je ve shodě s údajem udávaným výrobcem. V tabulce 5.1 jsou uvedeny maximální naměřené hodnoty veličin pro měřená napájecí napětí. Tabulky všech naměřených hodnot pro jednotlivá napětí jsou uvedeny v přílohách 1,2,3.

Napájecí napětí [V]	Kroutící moment [mN.m]	Výkon na hřídeli [W]	Proud [A]	Příkon [W]	Otáčky [ot/min]	Účinnost [%]
8	362,95	122,84	20,09	148,8	3968	86,3
12	359,55	194,9	19,93	228,13	5986	86,19
14	353,12	225,12	19,5	262,4	6965	85,97

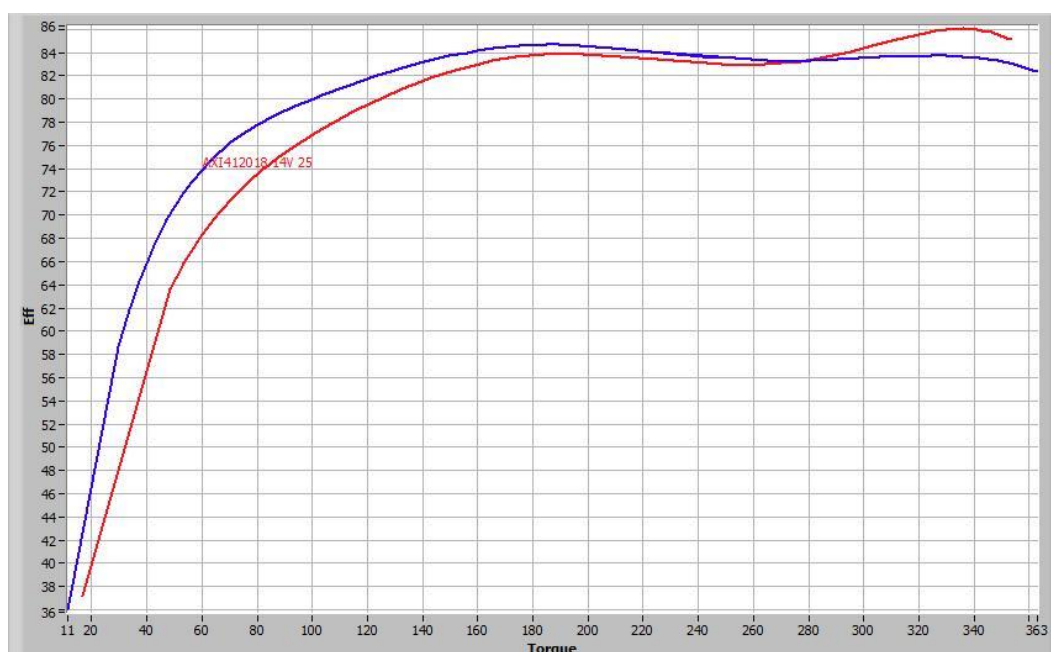
Tabulka 5.1 Maximální naměřené hodnoty veličin pro měřená napájecí napětí

Dále je z naměřených charakteristik patrné, že s vyšším napájecím napětím se zvyšuje i hodnota výkonu na hřídeli, hodnota příkonu a počet otáček, přičemž průběhy proudu, účinnosti a kroutícího momentu se pro měřená napájecí napětí mění jen nepatrně. Testovací program M-Test 5.0 umožňuje porovnávat výsledné křivky dvou na sobě nezávislých měření (viz kapitola 4.3.10), na obr. 5.5 je znázorněno porovnání průběhů výkonu na hřídeli pro

8 [V] (modrá) a 14[V] (červená), pro stejné hodnoty napětí je zobrazen i průběh účinnosti na obr. 5.6. Obě tyto veličiny jsou opět porovnávány v závislosti na kroutícím momentu měřeného elektromotoru. [9]



Obr. 5.5 Porovnání průběhu výkonu na hřídeli pro napájecí napětí 8 [V] a 14 [V]



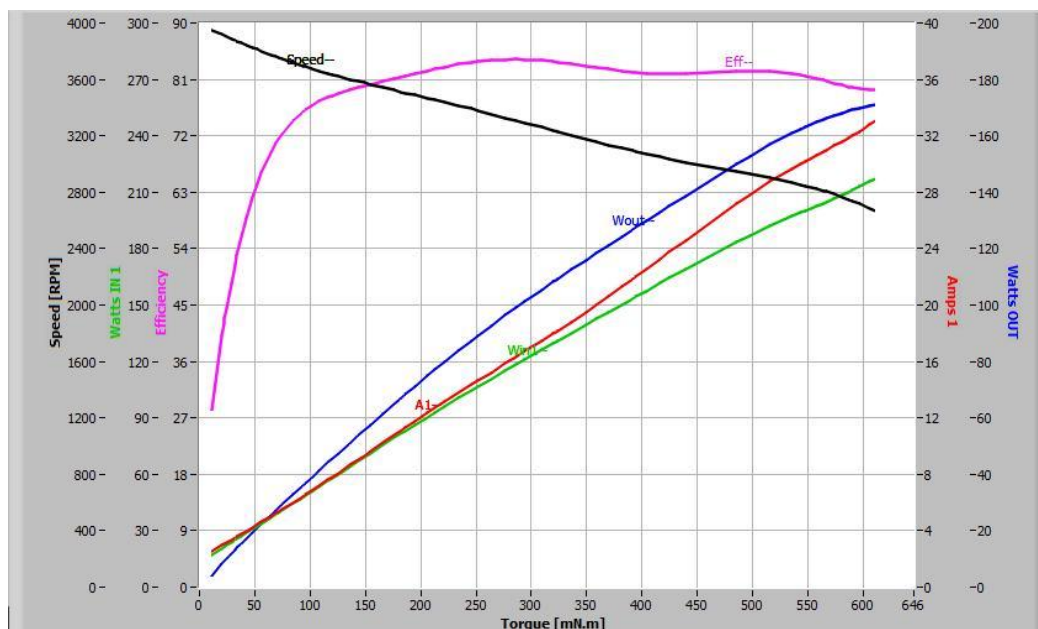
Obr. 5.6 Porovnání průběhu účinnosti pro napájecí napětí 8 [V] a 14 [V]

5.2 Měření elektromotoru AXI 4130/12 GOLD LINE

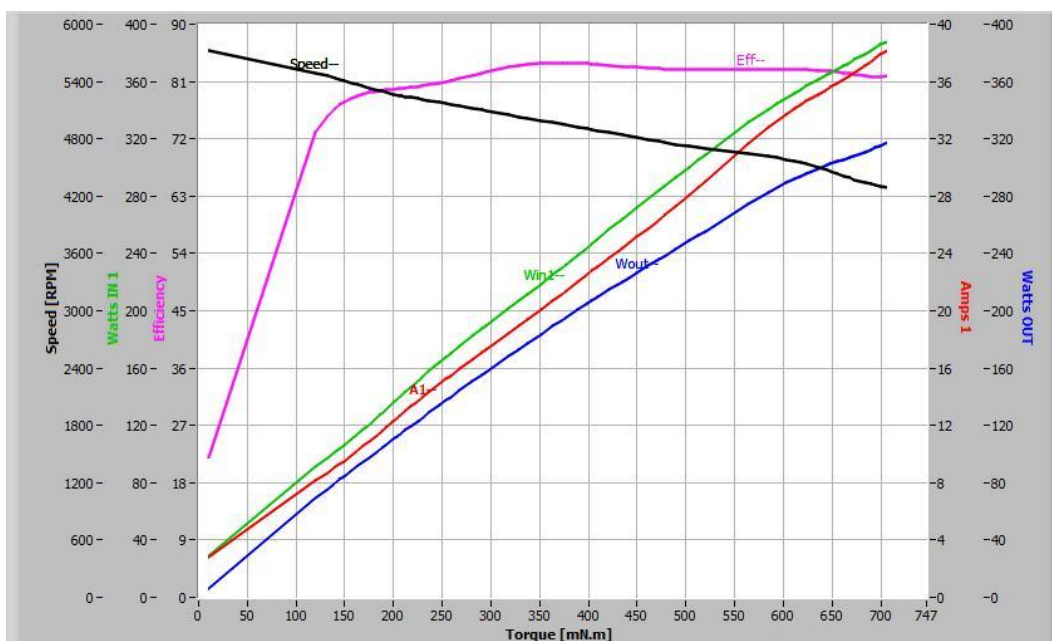
Tento typ bezkartáčového střídavého elektromotoru je v oblasti modelářství využíván především jako pohon vrtule akrobatického modelu letadla do hmotnosti 4500 [g]. Délka elektromotoru včetně hřídele o průměru 6 [mm] a délce 19 [mm] je 84,5 [mm], výška činí 49,8 [mm]. Hmotnost elektromotoru včetně napájecích kabelů činí 409 [g]. Mechanickou odolnost elektromotoru zajišťuje uložení hřídele ve třech kuličkových ložiscích. Maximální zatížitelnost elektromotoru je 55 [A] po dobu 60-ti sekund při maximálních otáčkách 8000 [ot/min]. Výrobce doporučuje napájecí napětí je v rozsahu 8 až 14 [V], zátěžný proud pak 2 až 30 [A]. Elektromotor AXI 4130/12 GOLD LINE pracuje na stejném principu jako elektromotor AXI 4120/18 GOLD LINE, je tedy nutné použít regulátor Jeti Advance 70 Pro viz kapitola 5.1.

Při měření elektromotoru pomocí hysterézního dynamometru HD 510-8NA-0130 byl tento elektromotor napájen přes regulátor Jeti Advance 70 Pro ze stejnosměrného zdroje MANSON SPS 9400. Při měření byl do obvodu rovněž zapojen bočník podle obr. 4.4, kapitola 4.2.1. Byla provedena měření pro tři hodnoty napájecího napětí: 8 [V], 12 [V] a 14 [V]. Měřeny byly následující veličiny:

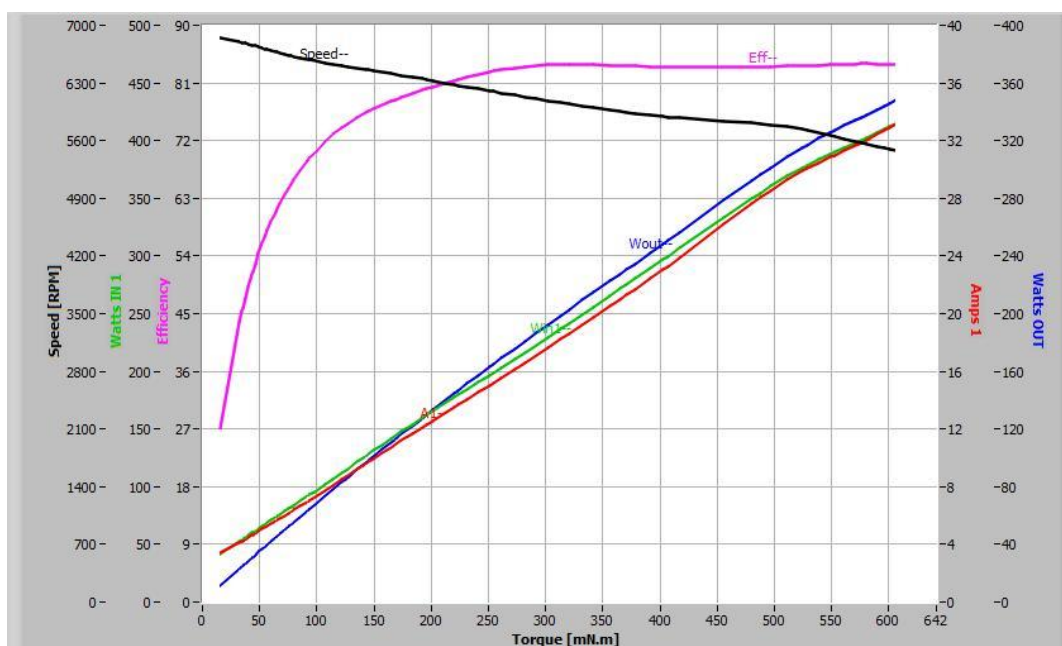
- otáčky [ot/min],
- krouticí moment [mN.m],
- proud [A],
- příkon [W],
- výkon na hřídeli [W],
- účinnost [%].



Obr. 5.7 Charakteristiky elektromotoru AXI 4130/12 GOLD LINE při napájecím napětí 8 [V]



Obr. 5.8 Charakteristiky elektromotoru AXI 4130/12 GOLD LINE při napájecím napětí 12 [V]



Obr. 5.9 Charakteristiky elektromotoru AXI 4130/12 GOLD LINE při napájecím napětí 14 [V]

Ze zjištěných charakteristik pro daná napájecí napětí plyne, že u elektromotoru AXI 4130/12 GOLD LINE v závislosti na rostoucím kroutícím momentu roste i hodnota výkonu na hřídeli, hodnota proudu a příkonu, otáčky však mírně s rostoucím kroutícím momentem klesají. Účinnost elektromotoru pro měřená napájecí napětí dosahuje ve všech případech maximální hodnoty 84 %, což

se shoduje s údajem udávaným výrobcem. Barevné značení křivek je totožné jako u naměřených charakteristik elektromotoru AXI 4120/18 GOLD LINE viz kapitola 5.1. Tabulka 5.2 uvádí maximální naměřené hodnoty pro daná napájecí napětí. Tabulky všech naměřených hodnot pro jednotlivá napětí jsou uvedeny v přílohách 4,5,6.

Napájecí napětí [V]	Krouticí moment [mN.m]	Výkon na hřídeli [W]	Proud [A]	Příkon [W]	Otáčky [ot/min]	Účinnost [%]
8	610,65	171,88	33,16	217,68	3971	84,22
12	706,85	317,49	38,16	388,21	5730	84,23
14	606,55	348,24	33,18	414,84	6848	84,13

Tabulka 5.2 Maximální naměřené hodnoty veličin pro měřená napájecí napětí

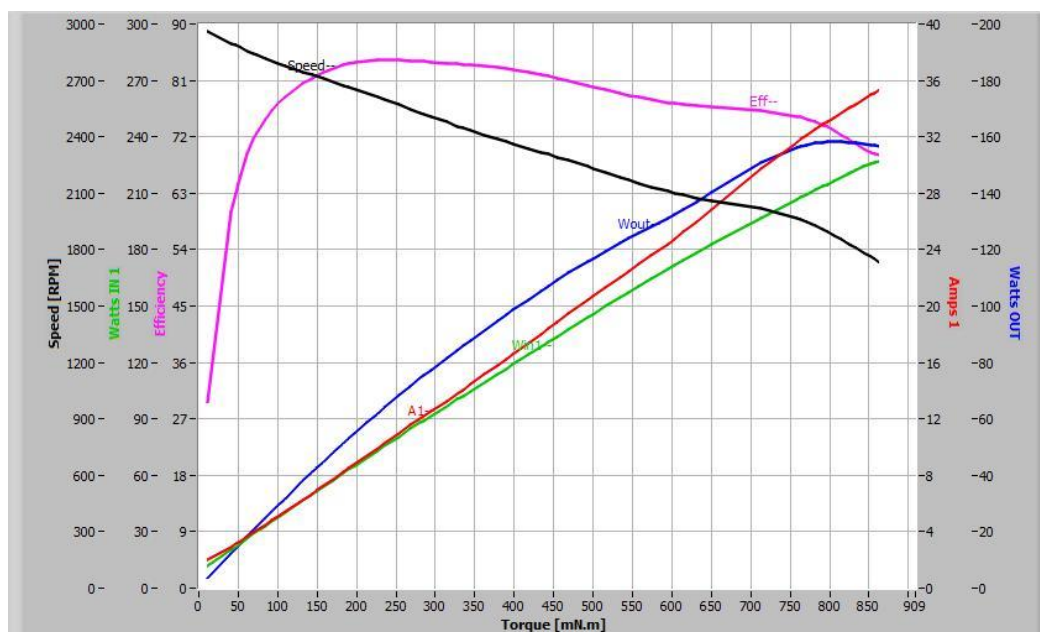
Z naměřených charakteristik i z tabulky 5.2 vyplývá, že čím vyšší je hodnota napájecího napětí, tím vyšší je i maximální hodnota výkonu na hřídeli, otáček a příkonu. Maximální hodnoty kroutícího momentu, proudu a účinnosti se mění pouze nepatrně. [9]

5.3 Měření elektromotoru AXI 4130/16 GOLD LINE

Model AXI 4130/16 GOLD LINE se oproti modelu AXI 4130/12 GOLD LINE (oba jsou součástí modelové řady 4130/xx) vyznačuje především menšími maximálními otáčkami a vyšším kroutícím momentem. Rozměry, hmotnost, uložení hřídele a použití elektromotoru jsou totožné jako u modelu AXI 4130/12 GOLD LINE viz kapitola 5.2, maximální zatížitelnost elektromotoru je 60 [A] po dobu 60-ti sekund při maximálních otáčkách 5500 [ot/min]. Doporučené napájecí napětí je v rozsahu 8 až 14 [V], doporučený zátěžný proud stanovený výrobcem pak činí 2 až 30 [A]. Elektromotor AXI 4130/16 GOLD LINE pracuje na stejném principu jako elektromotor AXI 4130/12 GOLD LINE, je tedy nutné použít regulátor Jeti Advance 70 Pro (viz kapitola 5.2).

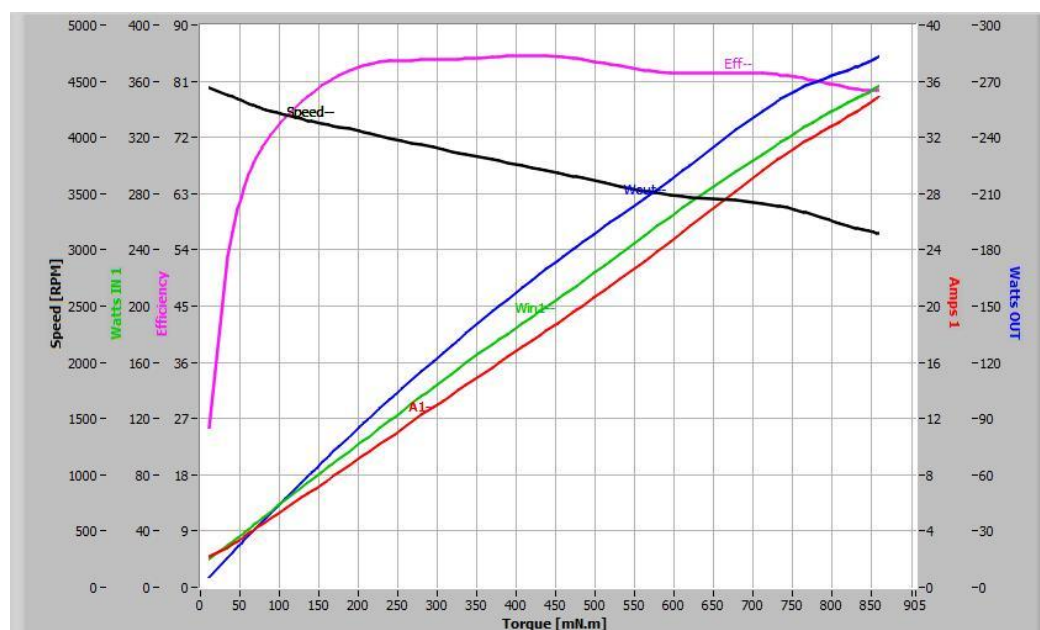
V průběhu měření modelu AXI 4130/16 GOLD LINE pomocí hysterézního dynamometru HD 510-8NA-0130 byl tento elektromotor napájen přes regulátor Jeti Advance 70 Pro ze stejnosměrného zdroje MANSON SPS 9400. Do obvodu je nutné kvůli vyššímu zátěžnému proudu zapojit bočník podle obr. 4.4, kapitola 4.2.1. Byla provedena měření pro tři hodnoty napájecího napětí: 8 [V], 12 [V] a 14 [V]. V rámci měření elektromotoru byly zjišťovány následující veličiny:

- otáčky [ot/min],
- krouticí moment [mN.m],
- proud [A],
- příkon [W],
- výkon na hřídeli [W],
- účinnost [%].

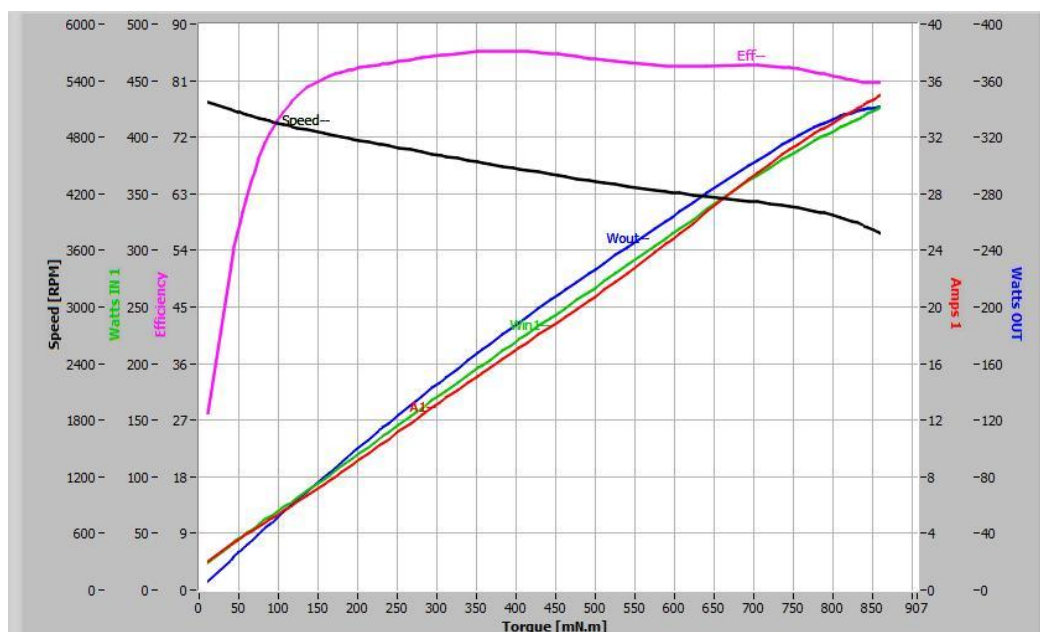


Obr. 5.10 Charakteristiky elektromotoru AXI 4130/16 GOLD LINE při napájecím napětí 8 [V]

Charakteristika účinnosti a výkonu na hřídeli měřeného elektromotoru při napájecím napětí 8 [V] vykazuje pokles hodnot při vyšších hodnotách kroutícího momentu. Pokles je dán poklesem otáček až na minimální hodnotu 1728 [ot/min], která je pro letecké modelářství velice nevýhodná. Elektromotor je proto vhodné zatěžovat vyšším napájecím napětím, aby nedocházelo k poklesu účinnosti a výkonu na hřídeli.



Obr. 5.11 Charakteristiky elektromotoru AXI 4130/16 GOLD LINE při napájecím napětí 12 [V]



Obr. 5.12 Charakteristiky elektromotoru AXI 4130/16 GOLD LINE při napájecím napětí 14 [V]

Charakteristiky modelu AXI 4130/16 GOLD LINE jsou v souladu s charakteristikami modelu AXI 4130/12 GOLD LINE viz kapitola 5.2, což vyplývá z podobnosti obou modelů. Při měření však bylo zjištěno, že napájecí napětí 8 [V] není vhodné pro provoz elektromotoru v oblasti leteckého modelářství kvůli poklesu otáček na velmi nízkou hodnotu. Než došlo k výraznému poklesu otáček vykazoval měřený elektromotor při napájecím napětí 8 [V] účinnost až 84 % stejně jako u vyšších měřených napájecích napětí, což se shoduje s účinností udávanou výrobcem. Barevné značení křivek je totožné se značením jako u charakteristik elektromotoru AXI 4120/18 GOLD LINE (viz kapitola 5.1). Tabulka 5.3 uvádí maximální naměřené hodnoty pro daná napájecí napětí. Tabulky všech naměřených hodnot pro jednotlivá napětí jsou uvedeny v přílohách 7,8,9.

Napájecí napětí [V]	Kroutící moment [mN.m]	Výkon na hřídeli [W]	Proud [A]	Příkon [W]	Otáčky [ot/min]	Účinnost [%]
8	863,77	158,3	35,34	226,99	2960	84,32
12	860,45	283,32	34,95	356,51	4442	85,36
14	861,65	342,91	35,15	427,57	5182	85,86

Tabulka 5.3 Maximální naměřené hodnoty veličin pro měřená napájecí napětí

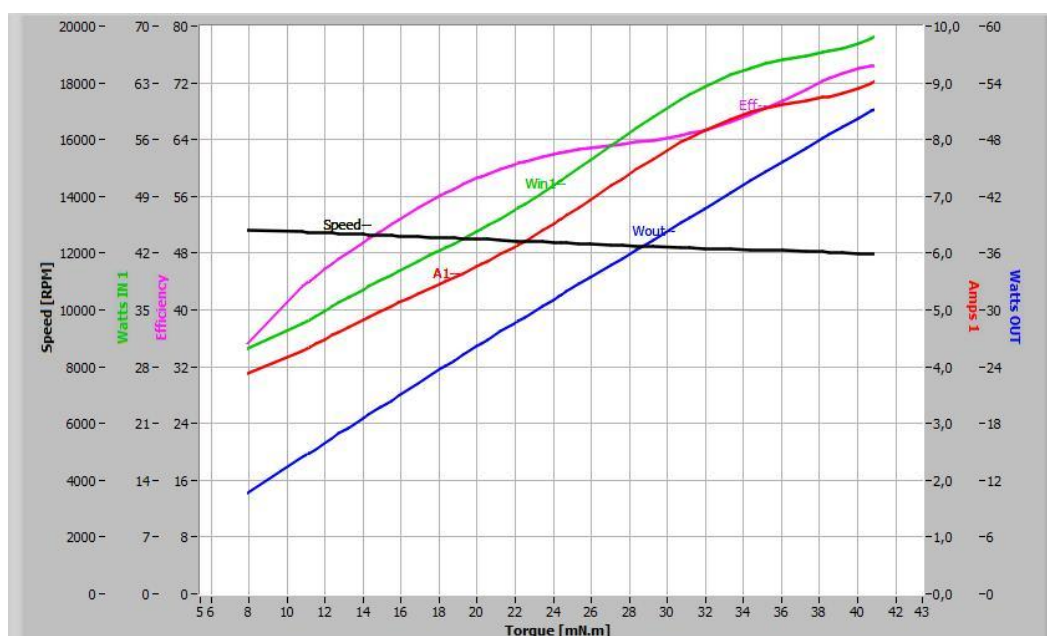
Z výsledných charakteristik a z tabulky 5.3 je patrné, že čím vyšší je hodnota napájecího napětí, tím vyšší je i maximální hodnota výkonu na hřídeli, otáček a příkonu. Maximální hodnoty kroutícího momentu, proudu a účinnosti se mění nepatrně. [9]

5.4 Měření elektromotoru AXI 2814/10 GOLD LINE

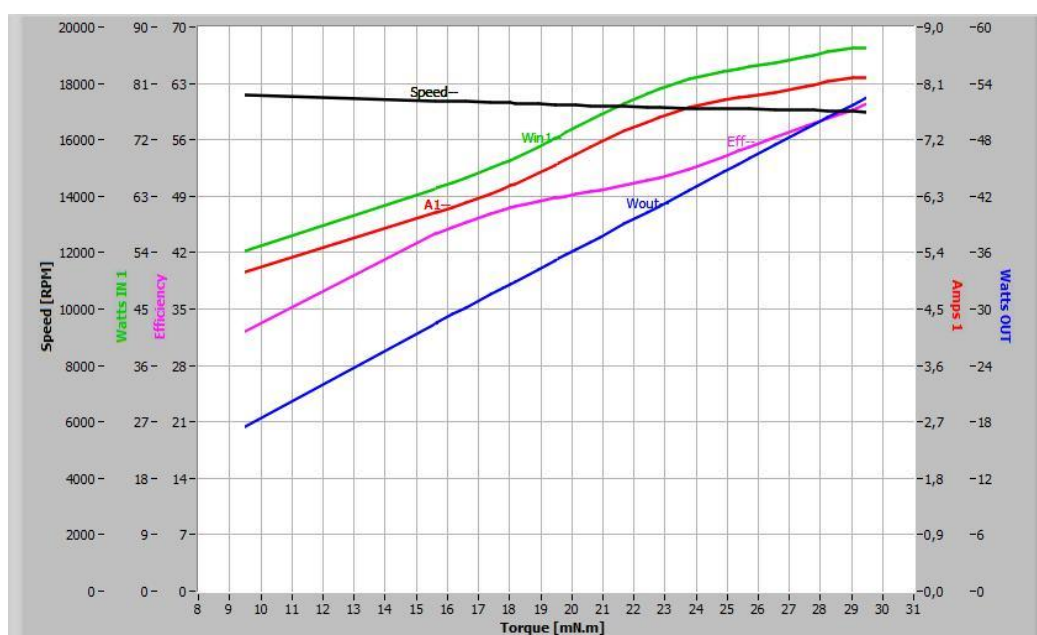
Posledním z měřených modelářských elektromotorů společnosti Modelmotors s.r.o. je model AXI 2814/10 GOLD LINE. Jedná se o vysokootáčkový bezkartáčový elektromotor s neodymovými magnety, který je využíván zejména jako pohon vrtulí akrobatických modelů letadel do hmotnosti 1900 [g]. Hřídel o průměru 4 [mm] má délku 17 [mm] a celkovou délku elektromotoru prodlužuje na 54 [mm] při výšce 35 [mm]. Hmotnost modelu činí 106 [g] včetně napájecích kabelů. Výrobce udává maximální hodnotu otáček 18000 [ot/min] po dobu 120-ti sekund při maximální zatížitelnosti 45 [A] po dobu 60-ti sekund. Doporučené napájecí napětí je v rozsahu 8 až 11 [V], doporučený zátěžný proud činí 2 až 12 [A]. Model AXI 2814/10 GOLD LINE pracuje na stejném principu jako elektromotor AXI 4120/18 GOLD LINE, je tedy nutné použít regulátor Jeti Advance 70 Pro (viz kapitola 5.1).

Kvůli nízkému krouticímu momentu byl elektromotor AXI 2814/10 GOLD LINE podroben měření na hysterézním dynamometru HD 400-8NA-0130. Elektromotor byl napájen přes regulátor Jeti Advance 70 Pro ze stejnosměrného zdroje MANSON SPS 9400. Byla provedena měření pro dvě hodnoty napájecího napětí: 8 [V] a 11 [V]. V rámci měření byly zjišťovány následující veličiny:

- otáčky [ot/min],
- krouticí moment [mN.m],
- proud [A],
- příkon [W],
- výkon na hřídeli [W],
- účinnost [%].



Obr. 5.13 Charakteristiky elektromotoru AXI 2814/10 GOLD LINE při napájecím napětí 8 [V]



Obr. 5.14 Charakteristiky elektromotoru AXI 2814/10 GOLD LINE při napájecím napětí 11 [V]

Výsledné charakteristiky měřeného elektromotoru znázorňují v závislosti na nízkém kroutícím momentu rostoucí výkon na hřídeli, příkon a proud, oproti tomu otáčky s rostoucím momentem mírně klesají. Při napájecím napětí 8 [V] vzrostla maximální hodnota účinnosti na výrobcem danou hodnotu 75%, ovšem při napájecím napětí 11 [V] pouze na hodnotu 60%. Důvodem tohoto poklesu jsou velmi vysoké otáčky měřeného elektromotoru (maximální naměřená hodnota 17570 [ot/min]), při kterých není schopen pracovat s vyšší účinností. Proto je vhodné z hlediska účinnosti nezatěžovat elektromotor příliš vysokými otáčkami. Barevné značení křivek je totožné jako u naměřených charakteristik elektromotoru AXI 4120/18 GOLD LINE (viz kapitola 5.1). V tabulce 5.4 jsou uvedeny maximální naměřené hodnoty pro daná napájecí napětí. Tabulky všech naměřených hodnot pro jednotlivá napětí jsou uvedeny v přílohách 10,11.

Napájecí napětí [V]	Kroutící moment [mN.m]	Výkon na hřídeli [W]	Proud [A]	Příkon [W]	Otáčky [ot/min]	Účinnost [%]
8	40,9	51,23	9,01	68,74	12826	74,50
11	29,5	52,48	8,21	86,93	17570	60,36

Tabulka 5.4 Maximální naměřené hodnoty veličin pro měřená napájecí napětí

Z výsledků měření plyne, že zatěžování elektromotoru AXI 2814/10 GOLD LINE maximálními otáčkami je velmi nevhodné, sníží se totiž jeho účinnost a kroutící moment, přičemž vzroste příkon. Nejpodstatnějším faktorem je však nárůst oteplení, který může vést až ke zničení elektromotoru. Proto výrobce dovoluje zatížit elektromotor maximálními otáčkami pouze po dobu 120-ti sekund. [9]

5.5 Měření elektromotoru FCJ4C52J

Model FCJ4C52J - asynchronní jednofázový elektromotor s trvale připojeným kondenzátorem společnosti ATAS Náchod a.s. určený pro všeobecné použití, zvláště pak pro pohon ventilátorů. Délka elektromotoru činí 138,5 [mm] včetně hřídele, výška 87 [mm] při hmotnosti 1,2 [kg]. Maximální napájecí napětí je 230 [V], 50 [Hz] při výkonu 60 [W] a maximálních otáčkách 2770 [ot/min]. K elektromotoru je trvale připojen keramický kondenzátor o kapacitě 4 [μ F]/400[V].



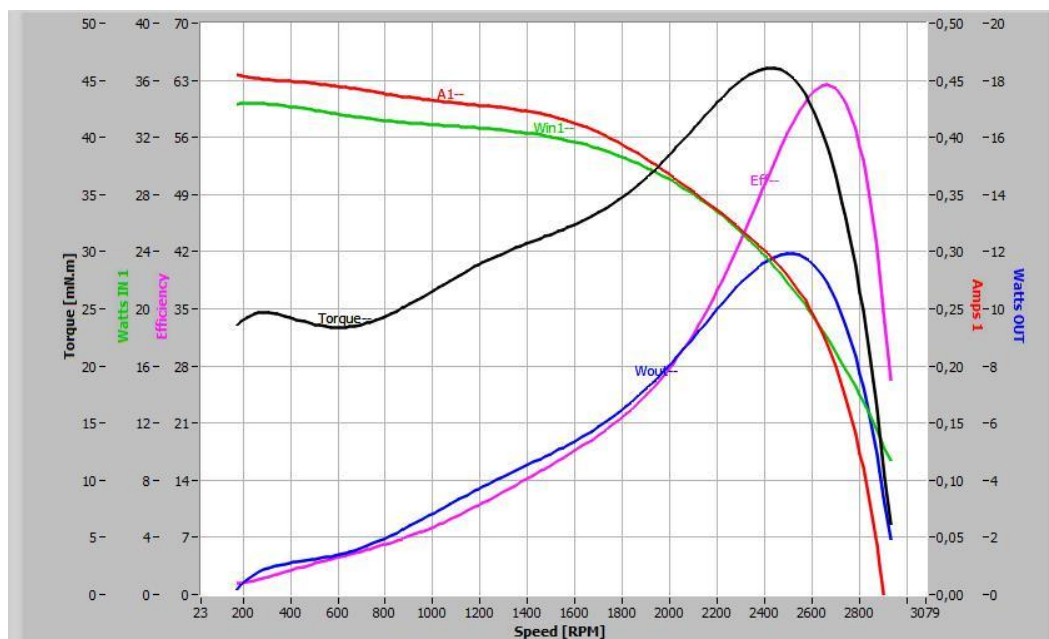
Obr. 5.15 Asynchronní jednofázový elektromotor FCJ4C52J

Při měření na hysterézním dynamometru HD 510-8NA-0130 byl elektromotor napájen ze zdroje regulovatelného jednofázového střídavého napětí z napájecího pultu Dt7 napětím v těchto rozsazích: 80[V], 120 [V] a 160 [V]. Vyšší napájecí napětí nebylo zvoleno z toho důvodu, že elektromotor je pomaloběžný a jako takový by hrozil při vyšším napájecím napětí velký nárůst kroutícího momentu, který by mohl poškodit použitý hysterézní dynamometr HD 510-8NA-0130 s maximálním dovoleným kroutícím momentem 850 [mN.m]. Při měření byly zjišťovány následující veličiny:

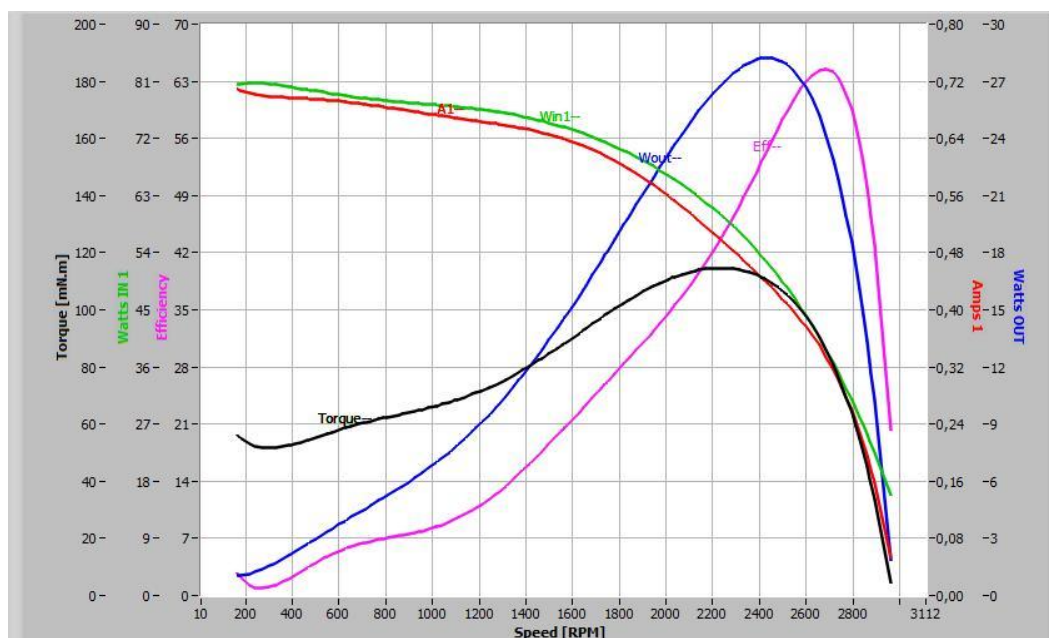
- otáčky [ot/min],
- kroutící moment [mN.m],
- proud [A],
- příkon [W],
- výkon na hřídeli [W],
- účinnost [%],
- účinník $\cos \varphi$.

Účinník elektromotoru byl změřen pro všechna tři napájecí napětí, jeho průběh je však zobrazen pouze v naměřených charakteristikách pro 160 [V] viz obr. 5.18, neboť je pro

všechna tři napětí prakticky stejný. Měřené charakteristiky pomocí programu M-TEST 5.0 jsou uváděny v závislosti na otáčkách, aby byla zjištěna závislost kroutícího momentu na otáčkách - momentová charakteristika.

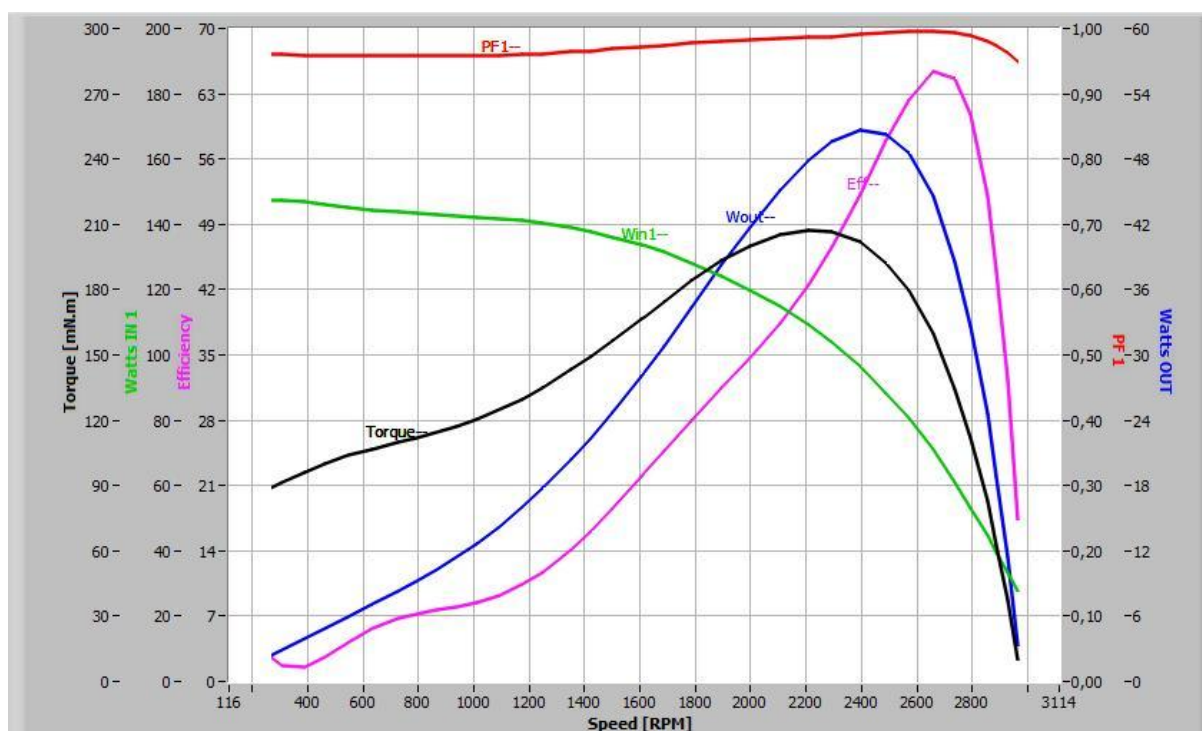


Obr. 5.16 Charakteristiky elektromotoru FCJ4C52J při napájecím napětí 80[V]



Obr. 5.17 Charakteristiky elektromotoru FCJ4C52J při napájecím napětí 120[V]

Z naměřených charakteristik pro napájecí napětí 80 [V] a 120 [V] plyne, že u elektromotoru FCJ4C52J s rostoucími otáčkami roste i výkon na hřídeli (Watts OUT - modrá) a účinnost (Efficiency - růžová) než dosáhnou svých maximálních hodnot. Proud (Amps 1 - červená) a příkon (Watts IN - zelená) s rostoucími otáčkami klesají. Krouticí moment (Torque - černá) v závislosti na otáčkách vykresluje křivku momentové charakteristiky, která odpovídá ideální momentové charakteristice jednofázového asynchronního motoru.



Obr. 5.18 Charakteristiky elektromotoru FCJ4C52J při napájecím napětí 160[V]

V naměřené charakteristice elektromotoru pro napájecí napětí 160 [V] je průběh proudu nahrazen průběhem účinku $\cos \varphi$ (PF 1 - červená). Ostatní charakteristiky mají podobný průběh jako u předchozích měřených napětí viz obr. 5.16 a obr. 5.17. S rostoucím napětím se mění pouze maximální hodnoty veličin uvedené v tabulce 5.5. Tabulky všech naměřených hodnot pro jednotlivá napětí jsou uvedeny v přílohách 12,13,14. [10]

Napájecí napětí [V]	Krouticí moment [mN.m]	Výkon na hřídeli [W]	Proud [A]	Příkon [W]	Otáčky [ot/min]	Účinnost [%]	Účinek $\cos \varphi$
80	48,29	12,35	0,45	34,57	2929	61,59	0,99
120	114,22	28,27	0,71	80,9	2962	63,47	0,99
160	206,42	50,58	0,97	147,81	2964	63,42	0,99

Tabulka 5.5 Maximální naměřené hodnoty veličin pro měřená napájecí napětí

6. Závěr

S rozvojem výroby a zdokonalením výrobních postupů elektrických strojů točivých roste i potřeba zdokonalovat měřicí metody pro zkoušky těchto strojů. Nároky jsou kladeny především na přesnost, rychlost a jakost měření. VŠB - TU Ostrava je pro měření elektromotorů malých a velmi malých výkonů vybavena moderní laboratoří s hysterézními dynamometry, pomocí kterých lze provádět komplexní realizaci měřeného elektromotoru.

Cílem diplomové práce bylo zjistit a analyzovat charakteristiky měřených elektromotorů s využitím moderních měřicích postupů, které jsou dostupné na novém pracovišti.

Předložená diplomová práce se skládá z šesti kapitol. Druhá kapitola se zabývala druhy zkoušek prováděných na jednotlivých typech elektromotorů. Třetí kapitola popisovala snímače kroutícího momentu pracující na principu diferenciálního transformátoru, pracoviště vybavené tímto snímačem a principem jeho funkce. Dále se kapitola věnovala typům dynamometrů používaných pro měření elektromotorů, principům jejich funkcí, přičemž zvláštní pozornost byla upřena na hysterézní dynamometry. V rámci čtvrté kapitoly bylo popsáno nové měřicí pracoviště, možnosti zapojení měřených elektromotorů a byl vysvětlen pracovní postup při realizaci měření.

Prezentaci výsledků měření na novém pracovišti byla věnována pátá kapitola. Testu bylo podrobeno celkem pět elektromotorů malých výkonů, jednalo se o čtyři střídavé bezkartáčové modelářské elektromotory společnosti Modelmotors s.r.o a jeden asynchronní elektromotor společnosti ATAS Náchod a.s. Bezkartáčový střídavý elektromotor AXI 4120/18 GOLD LINE vykazoval stabilní pracovní charakteristiky při všech měřených napájecích napětích a naměřené hodnoty odpovídaly údajům udávaným výrobcem. Podobně stabilní charakteristiky a hodnoty odpovídající hodnotám udávaným výrobcem byly zjištěny i u elektromotoru AXI 4130/12 GOLD LINE, což dokazuje preciznost výroby těchto elektromotorů. U modelu AXI 4130/16 GOLD LINE byla naměřena velmi nízká hodnota otáček při napájecím napětí 8 [V], bylo vyhodnoceno, že tento model je vhodné napájet vyšším napájecím napětím, aby nedocházelo k poklesům výkonu na hřídeli a účinnosti, což je pro letecké modelářství, pro které je elektromotor navržen nepřijatelné. Při vyšších napájecích napětích tento model opět vykazoval stabilní charakteristiky. Elektromotor AXI 2814/10 GOLD LINE, který je vysokootáčkový, naopak vykazoval nízkou účinnost při napájecím napětí 11 [V], proto je vhodné ho napájet nižším napětím a zatěžovat ho nižšími otáčkami. Charakteristiky jednofázového asynchronního elektromotoru FCJ4C52J s trvale připojeným kondenzátorem odpovídaly ideálním charakteristikám jednofázových asynchronních elektromotorů a naměřené hodnoty se shodovaly s údaji výrobce.

Zjištěné charakteristiky dokazují, že měření elektromotorů malých a velmi malých výkonů pomocí hysterézního dynamometru je spolehlivé a přesné. Využití testovacího programu M - TEST 5.0 je správnou volbou pro jednoduchou, rychlou a spolehlivou realizaci měření.

Seznam literatury

- [1] BAŠTA, J. KULDA, V. MĚŘIČKA, J. a kol.: *Měření na elektrických strojích - 1. Všeobecná část*, Státní nakladatelství technické literatury, v roce 1959, Praha, 302 stran
- [2] BAŠTA, J. KULDA, V. DVOŘÁK, F. a kol.: *Měření na elektrických strojích - 3. Měření na stejnosměrných strojích*, Státní nakladatelství technické literatury, v roce 1961, Praha, 249 stran
- [3] BAŠTA, J. KULDA, V. ZOUBEK, Z. a kol.: *Měření na elektrických strojích - 5. Měření na synchronních strojích*, Státní nakladatelství technické literatury, v roce 1964, Praha, 305 stran
- [4] BAŠTA, J. KULDA, V. PAVLÁSEK, F. a kol.: *Měření na elektrických strojích - 4. Měření na indukčních strojích*, Státní nakladatelství technické literatury, v roce 1962, Praha, 309 stran
- [5] *TM 300 Series - In line Torque Transducers, User`s manual*. Buffalo, New York, USA, 2009, 41 s.
- [6] *WB and PB Series - Eddy-Current and Magnetic Powder Dynamometers, User`s manual*. Buffalo, New York, USA, 2009, 81s.
- [7] *HD and ED Series - Hysteresis dynamometers, User`s manual*. Buffalo, New York, USA, 2008, 62 s.
- [8] *M-TEST 5.0 - Motor testing Software, User`s*. Buffalo, New York, USA, 2006, 100 s.
- [9] <http://www.modelmotors.cz/>
- [10] <http://www.atas.cz/>

Seznam příloh

Příloha 1	Hodnoty AXI 4120/18 GOLD LINE, 8 [V]
Příloha 2	Hodnoty AXI 4120/18 GOLD LINE, 12 [V]
Příloha 3	Hodnoty AXI 4120/18 GOLD LINE, 14 [V]
Příloha 4	Hodnoty AXI 4130/12 GOLD LINE, 8 [V]
Příloha 5	Hodnoty AXI 4130/12 GOLD LINE, 12 [V]
Příloha 6	Hodnoty AXI 4130/12 GOLD LINE, 14 [V]
Příloha 7	Hodnoty AXI 4130/16 GOLD LINE, 8 [V]
Příloha 8	Hodnoty AXI 4130/16 GOLD LINE, 12 [V]
Příloha 9	Hodnoty AXI 4130/16 GOLD LINE, 14 [V]
Příloha 10	Hodnoty AXI 2814/10 GOLD LINE, 8 [V]
Příloha 11	Hodnoty AXI 2814/10 GOLD LINE, 11 [V]
Příloha 12	Hodnoty FCJ4C52J, 80 [V]
Příloha 13	Hodnoty FCJ4C52J, 120 [V]
Příloha 14	Hodnoty FCJ4C52J, 160 [V]